ISSN2423-9143

福岡県農林業総合試験場特別報告

第６号

カキにおけるフジコナカイガラムシの総合的防除法の開発

平成 29 年 3 月

福岡県農林業総合試験場

（福岡県筑紫野市大字吉木）

SPECIAL BULLETIN

OF

THE FUKUOKA AGRICULTURE AND FORESTRY

RESEARCH CENTER

NO.6

Integrated management of *Planococcus kraunhiae* (Kuwana) (Homoptera: Pseudococcidae) injuring Japanese persimmons

by

Mayumi TESHIBA

THE FUKUOKA AGRICULTURE AND FORESTRY

RESEARCH CENTER

Chikushino, Fukuoka 818-8549, Japan

March 2017

カキにおけるフジコナカイガラムシの総合的防除法の開発

手柴　真弓

２０１７

＊九州大学　審査学位論文

目　次

緒言 1

第１章　天敵活用型防除体系 4

第１節　フジコナカイガラムシの天敵相 4

第２節　フジコナカイガラクロバチに対する薬剤の影響 11

第３節　天敵活用型防除体系とその効果 16

第４節　殺虫剤樹幹塗布法 23

第２章　性フェロモンを活用した防除技術 30

第１節　発生予察 30

第２節　交信撹乱 34

第３章　天敵の活動を高める技術 39

第１節　場内試験 39

第２節　現地試験 42

総合考察 48

要約 51

引用文献 53

緒　言

カキ *Diospyros kaki* Thunb (Ericales Ebenaceae) は東アジア原産の落葉果樹で，日本では古くから栽培されている。福岡県は国内第 3 位のカキ生産地で，甘がきに限ればその生産量は日本一である。県内の主な生産地はうきは市，朝倉市，久留米市などの筑後川流域で，日当たり，水はけの良い斜面である。県内の主な経済栽培品種は‘富有’,‘松本早生富有’,‘西村早生’などである。

福岡県のカキは主に 4 月に発芽し，5 月に開花・結実し，その後幼果は肥大する。収穫時期の目安は果実が赤く熟すころで，早生品種の 9 月以降晩生品種の 12 月まで続く。同じ落葉果樹でも，ウメは 3 月に開花し，6 月に収穫する。露地栽培のナシやブドウでは，主力品種であれば 3 月に発芽し，9 月には収穫を終える。これらの品目に比べると，カキの場合は発芽から収穫までの期間が 4 月から 12 月までと非常に長い。つまり，果実およびその収穫量に影響を及ぼす枝葉を加害する病害虫の防除も長期にわたる。

カキを加害する虫は様々である。チャノキイロアザミウマ *Scirtothrips dorsalis* Hood (Homoptera: Thripidae) は主に果実に吸汁痕を残し，カキクダアザミウマ *Ponticulothrips diospyrosi* Haga et Okajima (Homoptera: Thripidae) は加害により巻葉や果実被害を引き起こす。カキノヘタムシガ *Stathmopoda masinissa* Meyrick (Lepidoptera: Stathmopodidae) はカキミガとも呼ばれ，幼虫が食入し，幼果や収穫間際の果実を加害する。フタモンマダラメイガ *Euzophera batangensis* Caradja (Lepidoptera: Phycitinae) やヒメスカシバとも呼ばれるヒメコスカシバ *Synanthedon tenuis* (Butler) (Lepidoptera: Sesiidae) といった枝幹害虫はその幼虫が枝内に食入し，肥大した果実の重さや作業，強風により枝が折れやすくなるなど樹の骨格に直接悪影響を及ぼす。その他，ヒメクロイラガ *Scopelodes contracta* Walker (Lepidoptera: Limacodidae) やヒロヘリアオイラガ *Parasa lepida* Cramer (Lepidoptera: Limacodidae) などのイラガ類や，アメリカシロヒトリ *Hyphantria cunea* (Drury) (Lepidoptera: Arctiidae) やハスモンヨトウ *Spodoptera litura* (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae) 等の鱗翅目害虫の幼虫は葉を食害する。チャノコカクモンハマキ *Adoxophyes honmai* Yasuda (Lepidoptera: Tortricidae) やチャハマキ *Homona magnanima* Diakonoff (Lepidoptera: Tortricidae) といったハマキムシ類の幼虫は，葉だけでなく果実表面も食害する。また，果樹カメムシ類やカイガラムシ類等も果実を加害する。

これらの害虫に対しては有効な薬剤が販売されており，防除適期もほぼ把握されている。例えば，カキノヘタムシガは 4 月の平均気温から越冬世代成虫および第一世代成虫の発生時期を予測することができる（行徳ら，1968)。これを基に予測すると防除適期であるふ化幼虫発生時期は，福岡県では 6 月上旬と 8 月中下旬である。この時期にカキノヘタムシガに登録のある薬剤を散布することにより，通常の年であればある程度被害を抑えることが

できる。多くのカキ害虫に関するこのような情報は各関係機関が様々な手法で発信している。例えば，福岡県では病害虫・雑草防除の手引きを作成しており，インターネットで閲覧することができる（福岡県，2015)。また，各 JA や普及指導センター等の指導機関はこれらの害虫に対する防除暦を作成している。生産者の多くがこれらの情報に従って害虫防除を行うことにより，ほとんどの害虫の被害はある程度抑えられている。しかし，中には防除しきれず問題となった虫もある。その一つが果樹カメムシ類である。

果樹カメムシ類は 1973 年に突如として全国的な多発生が起こり，以後数年おきに被害が発生した(山田，1982)。果樹カメムシ類は，主にチャバネアオカメムシ *Plautia crossota stali* Scott（Homoptera: Pentatomidae)，ツヤアオカメムシ *Glaucias subpunctatus* (Walker) （Homoptera: Pentatomidae)，クサギカメムシ *Halyomorpha halys* (Stål) (Homoptera: Pentatomidae）の 3 種で（長谷川・梅谷，1974)，福岡県の予察灯に誘殺される果樹カメムシ類の約 80%がチャバネアオカメムシである（松本ら，2001)。本種は極めて多食性で，成虫の餌植物としてカキを含む 47 科 112 種，幼虫の餌植物として 20 科 28 種が報告されており（山田・宮原，1980)，果樹では特にカキで被害が問題となっている(山田，1982)。本種に対する防除には，1980 年代以降農薬登録が進んだ合成ピレスロイド系殺虫剤が使用されてきた。本剤は，広範な害虫に対して速効的に作用する上，光安定性や耐雨性に富み，残効性が高いため（日本植物防疫協会，2005)，果樹園外から次々と飛来する果樹カメムシ類に対して防除効果が高く，広く使われ始めた。しかし，福岡県病害虫防除所の調べによると，このころから福岡県内のカキ園ではフジコナカイガラムシ発生ほ場率が増加し始めた。

フジコナカイガラムシ *Planococcus kraunhiae* (Kuwana) (Homoptera: Pseudococcidae）の雌成虫は体長約 4mm 程度，ワラジ型で体表は白色粉状のロウ物質で覆われている。前蛹，蛹期を欠き，3 齢幼虫を経過して幼形成熟で無翅の成虫となる。一方, 雄は 2 齢幼虫ののち前蛹, 蛹を経過して成虫になる（河合, 1980)。雄成虫は体長約 2mm, 有翅で尾端に 2 本の長い白色毛を持ち，飛翔能力がある (Fig.1)。本種は単為生殖を行わず，産卵のためには交尾が必要である。卵は雌成虫の腹部から後方に塊状に産下され，卵塊表面は多量の綿状ロウ物質で覆われる。本種はカキやブドウ，ナシ，カンキツ，イチジクなど果樹類の重要な害虫であり（上野, 1963; 河合, 1980; 柴尾・田中, 2000)，特に西日本のカキでは近年発生が増加しており大きな問題となっている（福岡県，2008; 森下，2006)。本種によるカキの被害は主に果実に発生する。吸汁部位が赤化する火ぶくれ症や，排泄物に繁殖する糸状菌により果実表面にすす病を引き起こして果実の商品価値を著しく低下させる (Fig. 2)。また,「太秋」の果実では，フジコナカイガラムシの加害によりエチレン生成量が増加し，早期軟化が助長される可能性が示唆されている（杉浦ら，2012)。

本種は年 3 世代発生する。各世代の若齢幼虫発生時期は，第 1 世代が 6 月頃，第 2 世代が 8 月頃, 第 3 世代が 10 月頃である。主に第 3 世代の若齢幼虫が樹皮の隙間等で越冬し，

翌春には越冬世代幼虫として新梢や果実に移動して生育・加害する。本種の主な防除手段は，薬剤感受性が高い若齢幼虫（森下，2006）発生時期における薬剤散布である。栽培後期になるほどフジコナカイガラムシの密度が増加するため，多発園では栽培後期にも薬剤防除が行われる。しかし， 第 2 世代と第 3 世代では様々な齢期の個体が混在するうえ，果実の肥大によって生息場所である果実とヘタの隙間が狭くなり，薬剤が到達しにくくなることから防除効果が上がりにくい。また，薬剤防除の際にはかけムラが無いよう高圧で丁寧に薬剤を散布する必要があるので（福岡県, 2008），他の病害虫防除に比べて多くの薬液が必要になり，経費や労力の負担が大きい。そのため，防除効率の向上や新しい防除技術の開発が求められている。福岡県では，これまでに本種に対する防除技術の検討および開発を行ってきた。ここではその一連の研究を取りまとめた。

本論文の第 1 章では，福岡県内の土着天敵相を調べ，最も多く確認された寄生蜂に対する薬剤の影響を明らかにした。さらに，フジコナカイガラクロバチに及ぼす悪影響が少ない薬剤で構築した天敵活用型防除体系による効果を検証した。また，散布に代わる処理方法として，高濃度殺虫剤をカキの樹幹に塗布する方法の有効性を検証した。第 2 章では，本種の性フェロモンを活用した発生予察法の精度や交信撹乱法の効果を明らかにした。第 3 章ではこれまで本種の天敵として記載されていなかった寄生蜂を誘引する物質を利用した天敵誘引技術の可能性を検討した。これらの研究は，一部，国の指定試験および国の高度化事業「ダブルフェロモンと多機能型トラップによるカキ害虫 IPM の確立」，により取り組んだものである。

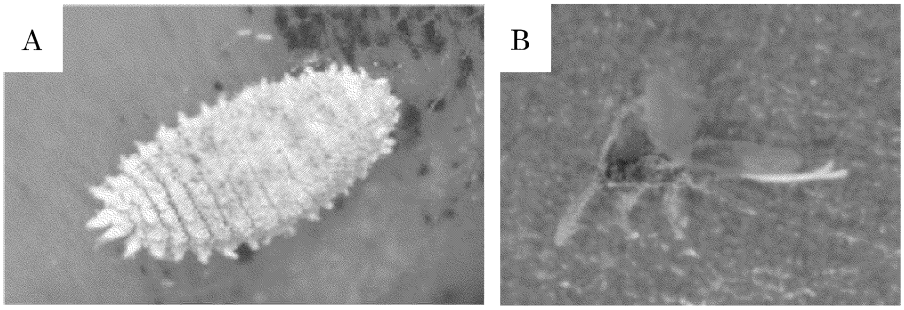

Fig.1. An adult female (A) and a male (B) of *Planococcus kraunhiae.*

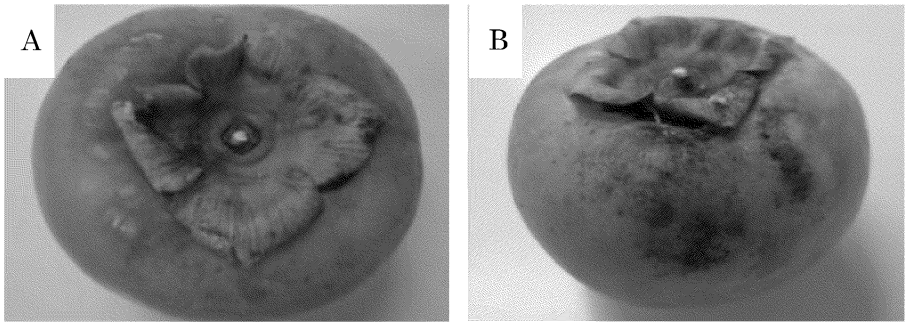

Fig.2. Japanese persimmons injured by *Planococcus kraunhiae.*

(A) Skin burning by sucking. (B) Pollution by sooty mold.

第１章　天敵活用型防除体系

第１節　フジコナカイガラムシの天敵相

フジコナカイガラムシに対する防除法として，防除効果が高い若齢幼虫発生時期の薬剤散布が行われている。しかし，生息場所が芽の内部や果実とヘタの隙間など薬剤のかかりにくい場所であること，産卵期間が長く，幼虫のふ化時期が揃いにくいこと，ふ化幼虫の体サイズが 1mm 以下と微小であるため，ほ場で目視によりその発生を確認することが難しい，等の理由により薬剤防除の効果には限界があり，西日本のカキで大発生して問題となっている。一方，本種の土着天敵として 3 種の寄生蜂と 2 種の捕食者が報告されており(安松・渡辺，1965; 田中・小林，1971)，これらの土着天敵類をフジコナカイガラムシ防除に利用できる可能性がある。しかし，本県におけるフジコナカイガラムシの報告は少なく，天敵相の解明が必要である。そこで，福岡県内のカキ園においてフジコナカイガラムシの天敵を採集し，天敵相の解明を行った。

材料および方法

誘引バンド

天敵類の採集にはフジコナカイガラムシ誘引バンド（以下，誘引バンド）を用いた。誘引バンドはカブリダニの捕獲に用いられるファイトトラップ（小池ら，2000）を改良したもので，長さ 12cm，幅 2.5cm の黒色面ファスナーに黒色毛糸を絡ませて作製した。誘引バンドの毛糸面を内側にして枝に巻きつけておくと隙間を好むフジコナカイガラムシが侵入するため，寄生蜂に寄生された個体や捕食者も同時に採集できる。各ほ場で任意に選んだ３樹に対し，１樹５～６枝に誘引バンドを巻き付け，ダブルクリップで固定した（Fig. 3A)。

フジコナ接種バンド

誘引バンドの毛糸の隙間にフジコナカイガラムシの卵塊約 10 個を接種したフジコナ接種バンドトラップ（以下，フジコナ接種バンド）を用いた調査も行った。フジコナ接種バンドを使えば，フジコナカイガラムシが誘引バンドで捕獲されないような低密度条件下でも天敵類を採集することができる。各ほ場から３樹選んで調査樹とし，各樹 5 枝にフジコナ接種バンドをダブルクリップで固定した。このとき，バンドに接種した卵塊が天敵に発見されやすいよう，毛糸面を外側にして設置した（Fig 3B)。

調査ほ場

誘引バンドを用いた天敵の採集は福岡県農林業総合試験場内の殺虫剤無散布のカキ園（筑紫野市）および県内の無防除カキ園２か所（朝倉町，吉井町）の，計 3 か所で行った。

筑紫野市では 1999 年から 4 年間と 2005 年に，朝倉町および吉井町では 1999 年から 3 年間実施した。

フジコナ接種バンドを用いた天敵の採集は前述の試験場内ほ場および県内の無防除カキ園 2 か所（いずれも吉井町）の計 3 か所で 2005 年に実施した。

調査方法

誘引バンドは 4 月から 10 月は約 10 日ごとに交換し，11 月以降は交換せず翌年 4 月に回収した。フジコナ接種バンドは 4 月に設置し，その後 10 月までは約 10 日ごとに新しいものと交換した。回収した誘引バンドおよびフジコナ接種バンド内の捕食者成虫は実体顕微鏡下で種を同定した。捕食者の幼虫が確認された場合はシャーレ（プラスチック製，直径 3.5cm×高さ 1cm）に移し，フジコナカイガラムシの卵塊および若齢幼虫を与えて羽化させた後，種を同定した。寄生性天敵については，捕食者を除いた誘引バンドおよびフジコナ接種バンドを密閉可能なビニル袋に収容して 25℃ で保管し，約 2 か月後にビニル袋内で羽化している成虫を同定に供した。

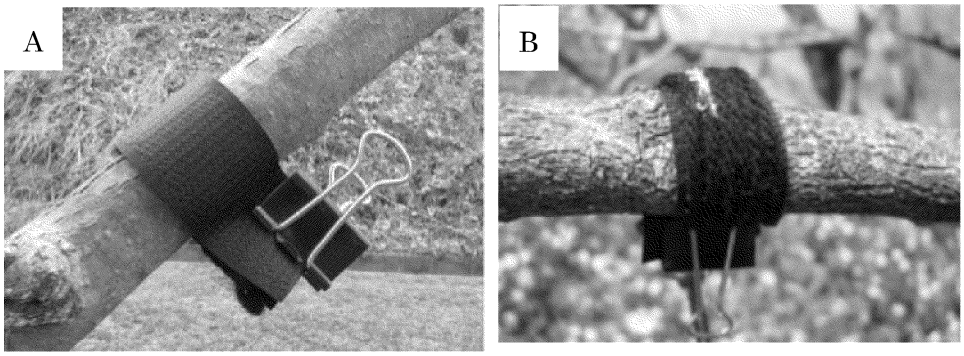

Fig. 3. Band-trap of *Planococcus kraunhiae* and its natural enemies.
(A) A trap made from hook, loop fastener and yarn, and without *P. kraunhiae* eggs.
(B) A trap contains eggs of *P. kraunhiae* which attract its natural enemies.

結果および考察

Table 1 に誘引バンド，フジコナ接種バンドで採集されたフジコナカイガラムシの天敵類を示した。今回の調査により 8 種の寄生蜂と 5 種の捕食性天敵が確認された。このうち，寄生蜂 5 種と捕食者 5 種はフジコナカイガラムシの天敵としては未記録のものであった。

最も採集数が多かったのはフジコナカイガラクロバチ *Allotropa subclavata* (Muesebeck) (Hymenoptera: Platygasteridae) (Fig.4 A) であった。本種は体長約 1mm，黒色の単寄生蜂であり，主にフジコナカイガラムシ 1～2 齢幼虫に産卵する（田中・小林，1971; 手柴ら，2015）。25℃，16L8D 条件下での卵から羽化までの期間は約 40 日で，野

外における年間世代数は 3 回と推定される（手柴，未発表）。産卵雌の寿命は 8 日程度，羽化当日に全卵巣卵が成熟しており，1 雌あたりの蔵卵数は約 500 で，寄主が十分にいれば羽化後 2 日以内にほぼ全ての卵を産下する（田中・小林，1968）。これまで，本種の越冬についての記載は無かったが，今回の調査で 10 月に設置し 4 月に回収した誘引バンド内のマミーから成虫が羽化したことから，本種はフジコナカイガラムシの幼虫体内で越冬していると考えられる。

誘引バンドとフジコナ接種バンドの 2 種のバンドトラップにおける本種の採集結果をみると，採集数は異なるものの主な採集時期は同様で 6 月中下旬と 8 月，10 月の 3 回であった（Fig. 5a, b）。フジコナカイガラムシおよびフジコナカイガラクロバチは，発育速度から年間 3 世代発生していると考えられるが，この調査でも同様の結果となった。さらに，この時期は誘引バンドにおけるフジコナカイガラムシの 1~2 齢幼虫捕獲時期とほぼ一致しており，両種の発生が同調していることが示唆された。

次に採集数が多かったのはフジコナカイガラトビコバチ *Anagyrus fujikona* Tachikawa (Hymenoptera: Encyrtidae) (Fig. 4B) であった。本種は体長約 2mm の単寄生蜂で，触角の先端は雌成虫が白色，雄成虫は黒色である。本種は安松・渡辺（1965）においてもフジコナカイガラムシの寄生蜂としてフジコナカイガラヤドリコバチの和名で記載されていたが，ここでは平嶋（1989）に従った。本種は主にフジコナカイガラムシの 3 齢幼虫や雌成虫に産卵する（井上，2003）。 25℃，16L8D 条件下での卵から羽化までの期間は約 20 日で，産卵雌の寿命は 20 日程度，羽化時の蔵卵数は約 2 卵と少ないが，主にフジコナカイガラムシの 1 齢幼虫の体液を摂取しながら体内の卵を成熟させ，生涯産卵数は約 60 に達する（井上，2003）。

ツノグロトビコバチ *Anagyrus subnigricornis* Ishii (Hymenoptera: Encyrtidae) は体長約 1mm, 体色は橙黄色, 雌成虫の触角は黒色である。寄主は未詳とされているが（平嶋・森本，2008），今回の調査でフジコナカイガラムシに対する寄生が確認された。

フジコナヒゲナガトビコバチ *Leptomastix dactylopii* Howard (Hymenoptera: Encyrtidae) (Fig. 4D) は体長約 2mm，体色は黄褐色である。室内試験によりミカンヒメコナカイガラムシ *Planococcus citri* (Risso) (Hemiptera: Pseudococcidae) の 3 齢幼虫および成虫に寄生することが明らかになっている（De Jong and van Alpen, 1989）。フジコナカイガラムシにおいても，そのマミーの大きさから 3 齢幼虫および成虫に寄生しているものと考えられる。

クワコナカイガラトビコバチ *Acerophagus malinus* (Gahan) (Hymenoptera: Encyrtidae) は体長約 1mm，体は黄白色で，クワコナカイガラムシ *Pseudococcus comstocki* (Kuwana) (Homoptera: Pseudococcidae) の有力な天敵として知られているが（村上，1966），フジコナカイガラムシに対する寄生は初めて確認された。本種はフジコナカイガラヤドリコバチの和名で記載されていたが（安松・渡辺，1965），ここでは平嶋

(1989) に従った。本種はクワコナカイガラムシでは卵以外の全ての齢期に産卵し，老齢幼虫および成虫には多寄生することが報告されており（村上，1966)，今回の調査でフジコナカイガラムシに対しても多寄生することが確認された。本種は発育速度が速く，クワコナカイガラムシに対し 210 倍の増殖能力を持つうえ，産卵から約 10 日で寄主を死亡させることからクワコナカイガラムシの有力な天敵であるとされているが（村上，1966)，フジコナカイガラムシでの採集数は少なかった。

ベニトビコバチ *Leptomastidea bifasciata* (Mayr) (Hymenoptera: Encyrtidae) は体長約 1mm，前翅には 2 本の黒帯がある。体色は雌雄とも名前のとおり紅色の美麗種で，特に雌の体色は鮮やかである。*Leptomastidae* 属の種は全てコナカイガラムシ類に寄生する (平嶋・森本，2008)。本種のシノニム *L. rubra* Tachikawa (Japoshvili et al., 2016) はスギヒメコナカイガラムシ *Spilococcus flavidus* (Kanda) (Homoptera: Pseudococcidae) の寄生蜂として記録されており（安松・渡辺，1965)，今回の調査でフジコナカイガラムシに対する寄生が初めて確認された。

Ophelosia sp. (Hymenoptera: Pteromalidae) は調査期間を通して 1 頭採集されたのみである。*Ophelosia* 属の寄生蜂は日本では正式な採集記録は無かったが，国外ではコナカイガラムシ類の天敵として知られている (Berry, 1995; Ceballo and Walker, 1998)。

捕食者で最も多く採集されたのは 2 種のタマバエ類で，中でも *Diadiplosis hirticornis* (Felt) (Diptera: Cecidomyiidae) (Fig. 4C) が優占種であった。本種の成虫は体長約 2mm，幼虫がフジコナカイガラムシの卵を捕食する。25℃，16L8D 条件下での卵から羽化までの期間は 17 日程度で，日中に活動することは明らかになっているが（手柴・堤，2009)，蔵卵数や幼虫の捕食量などは不明である。

Trisopsis sp. (Diptera: Cecidomyiidae) は *D. hirticornis* に比べると採集数は少なかった。本種はコナカイガラムシ類のほかカやツマオレガ等様々な昆虫の捕食者である (Abe, 2003)。

オオタツマアカヒメテントウ *Scymnus rectus* (Ohta) (Coleoptera: Coccinellidae) (Fig. 4E) は，バンドトラップ内で主に幼虫が確認された。その幼虫にフジコナカイガラムシの卵塊および若齢幼虫を与えたところ，成虫まで発育した。本種は誘引バンドでも採集されたが，フジコナ接種バンドにおける採集数が多かった。さらに，採集消長は 2 種のバンドトラップによって異なった (Fig. 5c, d)。誘引バンドでは 6 月 30 日に 1 回採集されたのみであったが，フジコナ接種バンドでは数の変動はあるものの 5 月中旬から 9 月中旬までほぼ毎回採集された。これは，誘引バンドで採集される天敵量はバンド内の寄主量に左右されるが，フジコナ接種バンドでは常に一定量の寄主が存在するため，野外の天敵の発生または産卵消長を反映したものと考えられる。つまり，オオタツマアカヒメテントウは，5 月から 9 月まで産卵している可能性がある。

スジクロヒメカゲロウ *Sympherobius domesticus* (Ephemeroptera: Hemerobiidae) (Fig.

4F）はイエクロヒメカゲロウという和名でクワコナカイガラムシの天敵として記録されていた（安松・渡辺，1965）。本種はフジコナ接種バンドで多く採集されたが，誘引バンドではフジコナカイガラムシの卵塊から採集されることが多かった。採集した本種幼虫にフジコナカイガラムシの卵塊および若齢幼虫を与えたところ，成虫まで発育した。

ムツボシコナカゲロウ *Spiloconis sexguttata* (Ephemeroptera: Coniopterygidae) は誘引バンドでは採集されず，フジコナ接種バンドでのみ採集された。本種を含む日本産のコナカゲロウ類が採集された事例は非常に稀である（手柴，2007)。

フジコナ接種バンドでは，餌不足のため羽化する前に死亡したと思われるカゲロウ類の幼虫が散見された。成虫を確認できなかったためこれらの種を判別することはできなかった。同定に成虫を用いる際は，採集した幼虫を確実に羽化させるため，餌の確保等注意が必要である。

なお，フジコナカイガラムシの天敵として記録されているアトホシヒメテントウ *Scymnus phosphorus* (Coleoptera: Coccinellidae) およびシロスジクサカゲロウ *Chrysopa albolineata* (Ephemeroptera: Chrysopidae) は，今回の調査では確認されなかった。

フジコナカイガラクロバチは 4 月から 10 月まで採集され，フジコナカイガラムシの全世代に寄生することが示唆された。特に多く採集された 6 月はフジコナカイガラムシ第一世代幼虫発生時期である。この時期，フジコナカイガラムシは比較的低密度であるが，次世代の密度に影響を及ぼすため，防除上重要な時期である。一方，捕食者の多くはフジコナカイガラムシの卵塊を接種したフジコナ接種バンドで 5 月から 9 月まで採集された。つまり，捕食者はフジコナカイガラムシ卵塊の密度が上昇すると，その抑制に貢献する可能性がある。特に採集数が多かった *D. hirticornis* はフジコナカイガラムシの有力な天敵として防除に利用できる可能性がある。

施設栽培のガーベラにおいては，農薬散布が土着天敵の活動に大きな影響を与えることが明らかになっている（大野ら，1999)。また，多くのカキ園で使用されている合成ピレスロイド系殺虫剤が，野菜の害虫マメハモグリバエ *Liriomyza trifolii* (Burgess) (Diptera: Agromyzidae) の寄生性天敵に対して悪影響を及ぼすことが報告されている（小澤ら，1998)。さらに，合成ピレスロイド系殺虫剤の連用散布がフジコナカイガラムシの密度増加を招くことが報告されており，土着天敵の減少によるものと推察されている（森下，2005)。土着天敵類を活用するためには，有力な土着天敵類に対して各種農薬が及ぼす影響を明らかにする必要がある。

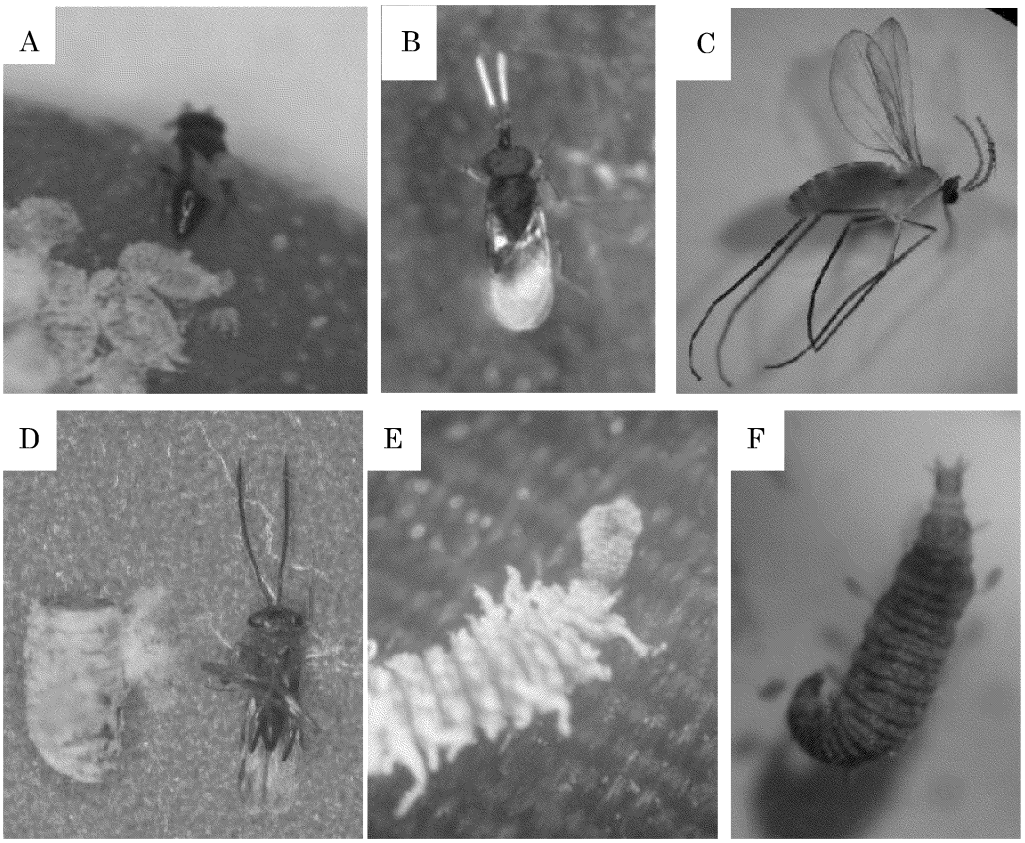

Fig.4. Natural enemies of Planococcus kraunhiae.

(A) *Allotropa subclavata*, (B) *Anagyrus fujikona*, (C) *Diadiplosis hirticornis*, (D) *Leptomastix dactylopii* and hatched mumy, (E) Larvae of *Scymnus rectus*, (F) Nymph of *Sympherobius domesticus.*

Table1. Natural enemies of *Planococcus kraunhiae* caught in Japanese persimmon orchard

Species	Caught amount
Parasitic wasp	
Allotropa subclavata	＋＋＋
Anagyrus fujikona	＋＋
Anagyrus subnigricornis	＋
Leptomastix dactylopii	＋
Pseudaphycus malinus	＋
Leptomastidea rubra	＋
Ophelosia sp.	＋
Signiphoridae sp.	＋
Predator	
Diadiplosis hirticornis	＋＋＋
Trisopsis sp.	＋＋
Scymnus rectus	＋＋
Sympherobius domesticus	＋
Spiloconis sexguttata	＋

This table shows the species of natural enemies and the amount of caught by band-trap in Japanese persimmon orchards in Chikushino-City, Yoshii-town and Asakura-town from April to October in 1999, 2000, 2001, 2002 and 2005. +++: much > ++ > +: a little

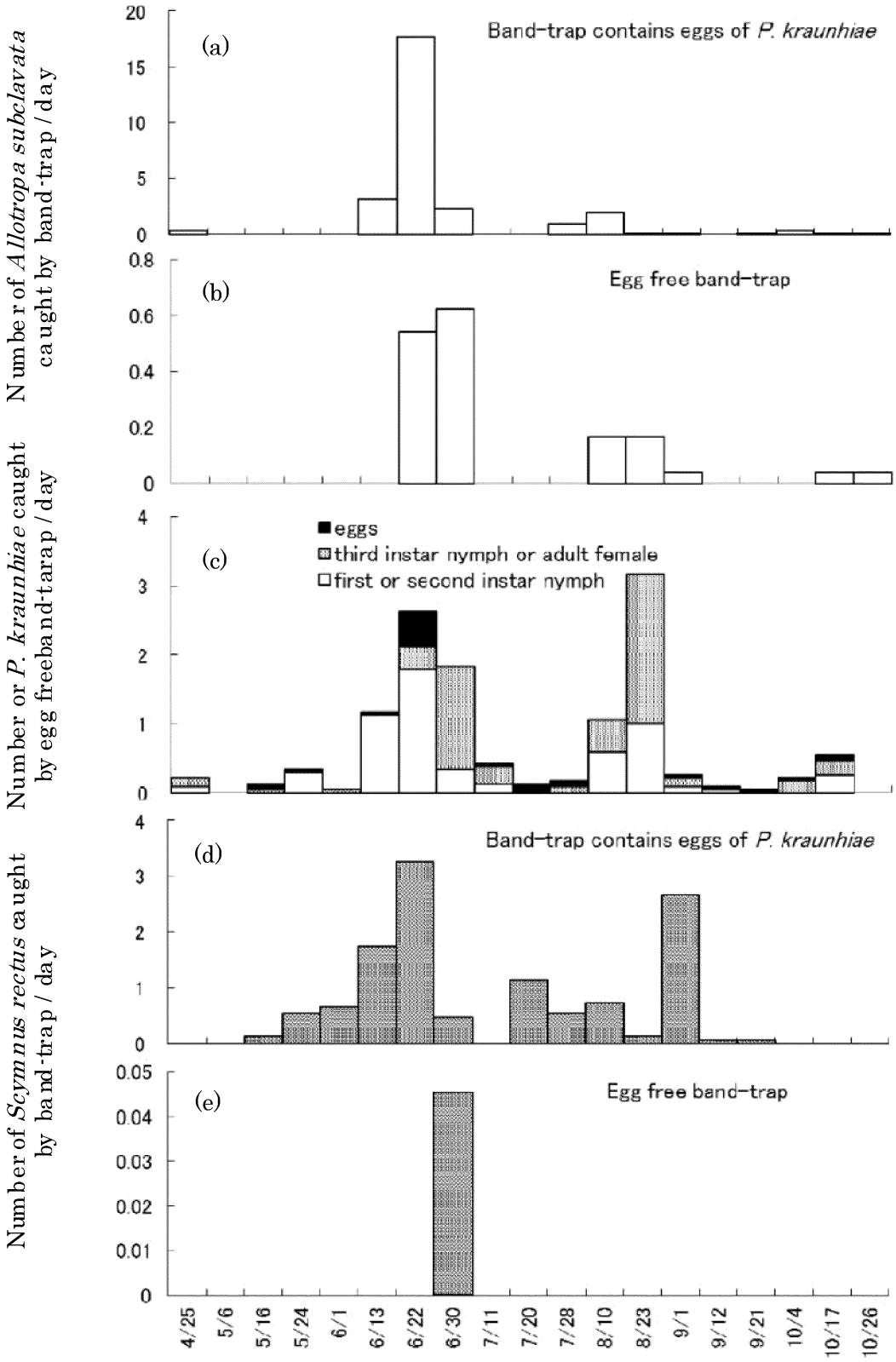

Fig. 5 Seasonal prevalence of natural enemies of *Planococcus kraunhiae* on band-trap types in Japanese persimmon orchard of chikushino-city in 2005.

(a) *Allotropa subclavata* caught by band-trap contains eggs of *P. kraunhiae,* (b) *A. subclavata* caught by egg free band-trap, (c) *P. kraunhiae* caught by egg free band-trap, (d) *Scymnus rectus* caught by band-trap contains eggs of *P. kraunhiae*and, (e) *S. rectus* caught by egg free band-trap

第 2 節　フジコナカイガラクロバチに対する薬剤の影響

福岡県内のカキ園における天敵相調査により，8 種の寄生蜂と 5 種の捕食者が存在していることが明らかとなり，これら土着天敵類がフジコナカイガラムシの密度抑制に利用できる可能性が示唆された。病害虫防除に使用する薬剤の中には天敵類に悪影響を及ぼすものが報告されており（小澤ら，1998；多々良ら，1993；戸田・柏尾，1997)，商品化された天敵類を利用している施設栽培の野菜・花き類では有益な情報となっている。しかし，フジコナカイガラムシの天敵では，薬剤の影響についての報告は無い。そこで，本県のカキ病害虫に使用する主な薬剤が土着天敵に及ぼす影響を明らかにするため，天敵相調査における採集数が最も多かったフジコナカイガラクロバチに対する各種薬剤の影響を調べた。

材料および方法

供試虫

フジコナカイガラクロバチは，1999 年に福岡県農林業総合試験場内（以下，場内）および朝倉町のカキ園で採集し，実験室内においてカボチャ果実で増殖させたフジコナカイガラムシの幼虫を寄主とし，ハチミツを餌として 25℃ 自然日長条件下で累代飼育した個体を供試した。また，2003 年以降は 2002 年 4 月に杷木町のカキ園で採集し，同様に累代飼育した個体を供試した。

供試薬剤と濃度

供試薬剤および濃度は Table 2 に示した。

薬剤の直接的な影響

フジコナカイガラクロバチ成虫に対する薬剤の直接的な影響を調べるため，壁面接触法（小澤ら，1998）に準じて試験を行った。供試薬剤はカキに登録のある農薬の中から本県で使用される薬剤を中心に殺虫剤 16 種類および殺菌剤 3 種類を選定した（Table 2)。各薬剤を実用濃度に希釈するのに要する溶媒量の 1／10 の水で十分に溶かした後，アセトンで 10 倍に希釈して供試薬液とした。試験管（直径 2.8cm×高さ 20cm）に薬液 0.1ml を流し込み，風乾させた。対照には無処理の試験管を用いた。餌として試験管内部の壁面に少量のハチミツを塗布して 15～20 頭のフジコナカイガラクロバチ成虫を放飼し，開口部をパラフィルムで閉じた。25℃ 自然日長条件で維持し，24 時間後の生死を調査して死亡率を算出した。

薬剤の影響持続期間

前述の試験で死亡率が高かった薬剤について，野外で散布した場合のフジコナカイガラクロバチ成虫に対する影響の持続期間を調べるため，処理葉接触法（小澤ら，1998）に準

じて試験を行った。2000 年および 2003 年に場内の露地栽培カキ樹に実用濃度で薬剤を散布し，数日間隔で薬剤が付着した葉を回収して 2cm×4cm の葉片を作成した。葉片に少量のハチミツを塗布し，フジコナカイガラクロバチ成虫とともに試験管（直径 2.8cm×高さ 20cm）に入れ，開口部をパラフィルムで閉じた。1 薬剤 3 反復とし，合計 30 頭以上のフジコナカイガラクロバチを供試した。25℃自然日長条件で維持し，48 時間後に死亡虫数を調べ，Abbott の補正式（1925）から補正死亡率を算出した。

結　果

各種薬剤がフジコナカイガラクロバチに与える影響を Table 2 に示した。薬剤の直接的な影響を示す壁面接触法による 24 時間後のフジコナカイガラクロバチの死亡率は，全ての合成ピレスロイド系殺虫剤，すなわちシラフルオフェン水和剤（商品名: MR. ジョーカー水和剤），アクリナトリン水和剤（同アーデント水和剤），ペルメトリン水和剤（同アディオン水和剤）および有機リン系殺虫剤，すなわちプロチオホス水和剤（同トクチオン水和剤），メチダチオン水和剤（同スプラサイド水和剤），フェニトロチオン水和剤（同スミチオン水和剤），アセフェート水和剤（同オルトラン水和剤）で 100%であった。また，ネオニコチノイド系殺虫剤では，イミダクロプリド水和剤（同アドマイヤー水和剤）とアセタミプリド水溶剤（同モスピラン水溶剤）は 100%，ニテンピラム水溶剤（同ベストガード水溶剤）で 95.7%といずれも高い死亡率であった。ジノテフラン水溶剤（同スタークル／アルバリン顆粒水溶剤），チアメトキサム水溶剤（同アクタラ顆粒水溶剤）は，処理葉接触法による 24 時間後のフジコナカイガラクロバチ死亡率を用いた。ジノテフラン水溶剤は 70.9%と高く，チアメトキサム水溶剤では 48.9%とやや高かったが，ネオニコチノイド系殺虫剤の中では低かった。一方，IGR 剤はブプロフェジン水和剤（同アプロード水和剤）で 7.1%と低く，クロルフルアズロン水和剤（同アタブロン SC フロアブル）では 0%で影響は無かった。BT 剤（チューリサイド水和剤）でも 3.5%と低かった。殺菌剤では，マンゼブ水和剤（ペンコゼブ水和剤）が 48.6%とやや高い値であったが，ミクロブタニル水和剤（ラリー水和剤）では 11.4%と低く，クレソキシムメチル水和剤（ストロビードライフロアブル）では 0%で影響は無かった。

葉に処理した薬剤がフジコナカイガラクロバチの生存期間に及ぼす影響については，処理葉接触法による補正死亡率が 25%以下になった期間を悪影響持続時間として Table 2 に示した。合成ピレスロイド系殺虫剤のシラフルオフェン水和剤やアクリナトリン水和剤，ネオニコチノイド系殺虫剤のイミダクロプリド水和剤，ジノテフラン水溶剤，チアメトキサム水溶剤はいずれも処理後 17 日以上悪影響が持続した。同じネオニコチノイド系殺虫剤のアセタミプリド水溶剤は処理 4 日後の補正死亡率は 58.3%であったが，10 日後は 10.8%に低下した。有機リン系殺虫剤のプロチオホス水和剤は，10 日後の補正死亡率は 75%と高かったが，17 日後では 8.1%まで低下した。メチダチオン水和剤は，処理 4 日後

の補正死亡率は 70.4%と高かったが，10 日後には 22.6%まで低下した。フェニトロチオン水和剤の補正死亡率は，処理 5 日後には 23.4%と低かった。

Table 2　Effect of pesticides used in Japanese persimmon orchards on *Allotropa subclavata*.

Main Group / Chemical subgroup	Active ingredients	Dilution	Mortality [a] (%)	Harmful effects period [b] (day)
Insecticide				
Synthetic pyrethroid	Silafluofen	×2,000	100	> 18
	Acrinathrin	×2,000	100	> 18
	Permethrin	×2,000	100	—
Neonicotinoids	Imidacloprid	×1,000	100	> 18
	Acetamiprid	×2,000	100	< 10
	Nitenpyram	×2,000	95.7	—
	Dinotefuran	×2,000	70.9	> 17
	Thiamethoxam	×2,000	48.9	> 17
Organophosphates	Prothiofos	× 800	100	< 17
	Methidathion	×1,500	100	< 10
	Fenitrothion	×1,000	100	< 5
	Acephate	×1,500	100	—
Insect growth regulator	Buprofezin	×1,000	7.1	—
	Chlorfluazuron	×4,000	0	—
BT	*Bacillus thuringiensis*	×1,000	3.5	—
Fungicide	Manzeb	× 500	48.6	—
	Myclobutanil	×2,000	11.4	—
	Kresoxim-methyl	×3,000	0	—
Control			0	

[a] Mortality due to treated wall contact method.　Values of Dinotefuran and hiamethoxam are results of treat day in treated leaves contact method.　[b] Harmful effects period is time to correct mortality fall below 25%.
— is uninvestigated.

考　察

フジコナカイガラクロバチに対する影響がほとんど見られなかった IGR 剤は，昆虫の脱皮・変態を撹乱することにより死亡させる殺虫剤である。主にチョウ目害虫の防除薬剤であり，クロルフルアズロン水和剤はカキクダアザミウマにも登録がある。同じくフジコナカイガラクロバチに対する影響がほとんどみられなかった BT 剤は，細菌 *Bacillus thuringiensis* Berliner (Bacillales Bacillaceae) が菌体内に生成する毒素を有効成分とする殺虫剤で，鱗翅目幼虫にのみ有効であるため天敵に対する影響は少ない。したがって，フジコナカイガラムシの防除にフジコナカイガラクロバチを活用するためには，鱗翅目害

虫等に対してはIGR剤やBT剤で防除を行う必要がある。しかし，カキ栽培ほ場では果樹カメムシ類のようにIGR剤BT剤では防除できない害虫も発生するため，フジコナカイガラクロバチに悪影響があっても他系統の薬剤を使用せざるを得ない場合がある。その際，薬剤の特性を考慮してフジコナカイガラクロバチに及ぼす悪影響を最小限にするように薬剤を選定する必要がある。

有機リン系殺虫剤は，フジコナカイガラクロバチ成虫に対して直接的な殺虫活性が高かった。一方，悪影響期間はプロチオホス水和剤では 17 日程度であったが，フェニトロチオンは5日程度と短かった。マメハモグリバエの天敵寄生蜂 *Diglyphus isaea* (Walker) (Hymenoptera: Eulophidae) および *Dacnusa sibirica* Telenga (Hymenoptera: Braconidae)でも，有機リン系殺虫剤のDDVP処理直後の葉片と接触した成虫の死亡率は100%であったが，処理1週間後の葉片では約10%以下になったとの報告があり（小澤ら，1998)，有機リン系殺虫剤の中には寄生蜂類に対して悪影響を及ぼす期間が短いものもあると考えられる。施設栽培における天敵放飼では，直接的な殺虫活性が高い薬剤が一度散布されるとその後の天敵の回復が困難であるためそのような薬剤は利用できないが，土着天敵を利用する場合は散布薬剤の悪影響が無くなれば園外から再侵入した天敵による活動が期待できる（大野ら，1999; 西東ら，1996)。有機リン系殺虫剤はケムシ類やハマキムシ類等のチョウ目害虫，カイガラムシ類やカメムシ類等のカメムシ目害虫など広範囲の害虫に対する殺虫効果が認められているため，フェニトロチオンのように悪影響を及ぼす期間が短い薬剤は，土着天敵を活用する上で重要な薬剤となり得る。

供試したネオニコチノイド系殺虫剤は，全般的にフジコナカイガラクロバチに対して直接的な殺虫活性が高く，悪影響を及ぼす期間も 17 日以上と長かった。しかし，アセタミプリド水溶剤は処理 10 日後のフジコナカイガラクロバチの補正死亡率が約 10%と低く，ネオニコチノイド系殺虫剤の中ではフジコナカイガラクロバチに対して悪影響を及ぼす期間が比較的短い。したがって，土着天敵を防除に活用する際，ネオニコチノイド系殺虫剤の散布が必要な場合は本剤の利用が望ましい。なお，フジコナカイガラムシは，有機リン系殺虫剤やカーバメート系殺虫剤に比べてネオニコチノイド系殺虫剤に対する薬剤感受性が高い（森下，2006)。また，プロチオホス水和剤やアセフェート水和剤，メチダチオン水和剤はフジコナカイガラムシの齢期の進行とともに薬剤感受性が低下するが，アセタミプリド水溶剤では2齢以降も感受性が高いことが報告されており（森下，2006)，散布時期がフジコナカイガラムシのふ化幼虫発生時期から遅れた場合でも防除効果が期待できる可能性がある。

合成ピレスロイド系殺虫剤は天敵に及ぼす影響が強く，例えば，トマトで利用されるハモグリミドリヒメコバチに対しても合成ピレスロイド系殺虫剤は強い悪影響を与えることが明らかになっている（山村・嶽本，2001)。また，施設栽培のトマトでは合成ピレスロイド系殺虫剤の散布により寄生蜂による寄生率が減少し，マメハモグリバエのリサージェン

スが起こったとの報告もある（西東ら，1993)。ミカンハダニ *Panonychus citri* McGregor (Acari: Tetranychidae) とモモサビダニ *Aculus fockeui* (Nalepa et Trouessart) (Acari: Eriophyidae)では，合成ピレスロイド系殺虫剤が両種に対して活性が低い一方，それらの天敵に対しては散布後かなり長期間にわたり天敵の定着を阻止するため誘導的大発生が引き起こされる（古橋・森本，1989; Kondo and Hiramatsu, 1999)。合成ピレスロイド系殺虫剤はネオニコチノイド系殺虫剤や有機リン系殺虫剤に比べるとフジコナカイガラムシの薬剤感受性は低く，フジコナカイガラクロバチに対する悪影響は強い。カキにおける土着天敵の利用では園外からの天敵の再侵入が期待できるとはいえ，悪影響を及ぼす期間の長い薬剤の頻繁な散布はフジコナカイガラムシのリサージェンスを引き起こす可能性が高く(森下，2005)，極力避ける必要がある。合成ピレスロイド系殺虫剤を頻繁に使用する場面として，果樹カメムシ類に対する防除がある。多飛来時には連続的に園外から飛来する果樹カメムシ類に対し，薬剤の残効を補うため 10 日間隔で散布する必要があるが，これによりフジコナカイガラムシのリサージェンスを引き起こす可能性がある。したがって，果樹カメムシ類の防除薬剤としては合成ピレスロイド系殺虫剤に変えて，フジコナカイガラムシに対する薬剤感受性が高いネオニコチノイド系殺虫剤の使用が望ましい。

殺菌剤では，フジコナカイガラクロバチの補正死亡率がマンゼブ水和剤でやや高い傾向があった。殺菌剤が寄生蜂に及ぼす影響がマメハモグリバエの天敵寄生蜂 *D. isaea* および *D. Sibirica* で調査されている（多々良ら，1993; 小澤ら，1998)。それによると，キャプタン剤は前記 2 種成虫に対してやや高い殺虫活性が認められたが，その他の殺菌剤では天敵に対してほとんど悪影響は認められていない。一部の殺菌剤では天敵に対して悪影響を及ぼす可能性があるが，殺虫剤に比べるとその程度は低く，殺菌剤が天敵類に及ぼす影響は少ないと考えられる。

本試験の結果から，フジコナカイガラムシ防除にフジコナカイガラクロバチを活用するためには，IGR 剤および BT 剤を主体とし，これらの薬剤でも防除できない害虫に対してはフェニトロチオン水和剤やアセタミプリド水溶剤等フジコナカイガラクロバチに対して悪影響を及ぼす期間が比較的短い薬剤で対応するのが望ましい。第 3 節では，本試験の結果に基づいたカキの天敵活用型防除体系を構築し，フジコナカイガラムシを含むカキ害虫に対する防除効果について現地カキ園で行った実証試験の結果を報告する。

第 3 節　天敵活用型防除体系とその効果

カキで最も問題となるフジコナカイガラムシに対する防除にフジコナカイガラクロバチをはじめとする土着天敵類を活用するため，県内の天敵相調査で採集数が最も多かったフジコナカイガラクロバチに及ぼす悪影響が少ない剤を主体とした天敵活用型防除体系を構築した。

福岡県のカキ栽培で問題となる害虫は，フジコナカイガラムシのほかにカキノヘタムシガ，ハマキムシ類，果樹カメムシ類がある。また，近年はハスモンヨトウをはじめとした突発的に発生するマイナー害虫も増加している。天敵活用型防除体系を構築する際にも，これらの害虫に対して十分配慮しなければならない。そこで，カキ害虫を主な加害部位と発生頻度によって分類し，果実に対するリスクを重視した防除体系を開発した（Fig. 6)。この体系では，① フジコナカイガラムシに対する薬剤防除は 4 月と 6 月のみ行い，7 月以降は行わない。越冬世代幼虫が活動を開始する 4 月と，第一世代幼虫発生時期の 6 月は重要な防除時期である。この時期にフジコナカイガラムシに対する薬剤防除を行い，確実に密度を抑制する。フジコナカイガラムシの密度が高い場合は，幼虫発生時期が長期にわたり，散布薬剤の残効期間を超える可能性がある。そこで，1 回目の散布の約 10 日後を目安に追加防除を行う。その際，一度目は幼虫に効果の高い IGR 剤を，2 回目は 2 齢以降も効果が期待できるアセタミプリド水溶剤を使用する。カキの果実が肥大することで狭くなる果実とヘタの隙間に寄生するフジコナカイガラムシに散布薬剤がかかりにくくなる 7 月以降は薬剤防除を行わず，土着天敵を活用する。土着天敵を保護利用するためには，土着天敵類に悪影響を及ぼす薬剤の使用をできるだけ控える必要がある。そこで，② フジコナカイガラムシをはじめ，カキ栽培で発生する様々なカキ害虫に対する防除は，フジコナカイガラクロバチに対する悪影響が少ない剤を用いる。カキ栽培ではフジコナカイガラムシ以外にも果実を加害するアザミウマ類やカキノヘタムシガ，ハマキムシ類等の害虫が発生する。そこで，これらの害虫の防除適期である 5 月下旬，8 月上旬，9 月上旬に IGR 剤を用いて防除を行うことにした。さらに，③ 果樹カメムシ類等突発的に発生する害虫は必要に応じて防除を追加する。特に果樹カメムシ類は吸汁により果実の商品価値を著しく低下させるため，多飛来時の防除は不可欠である。これまで果樹カメムシ類の防除に主に使用されてきた合成ピレスロイド剤はフジコナカイガラクロバチに悪影響を及ぼす上，フジコナカイガラムシに対する殺虫効果が低い（森下，2005)。一方，ネオニコチノイド系剤はフジコナカイガラクロバチに悪影響を及ぼすものの果樹カメムシ類とフジコナカイガラムシの両方に効果が高い。そこで，果樹カメムシ類が多飛来する場合は，従来の合成ピレスロイド剤に替えてネオニコチノイド系剤で防除することとし，この天敵活用型防除体系の効果について検証した。なお，冬季の粗皮削りはフジコナカイガラムシの越冬密度を抑制する（森下，2005）だけでなく，発芽後もフジコナカイガラムシの蛹化・産卵場所を減らすと考えられる （福岡県，2008)。さらに，粗皮下で幼虫越冬するカキノヘタムシガやフタ

モンマダラメイガ，ヒメコスカシバに対しても有効であるので（坂神・工藤，2003），できる限り実施することとした。

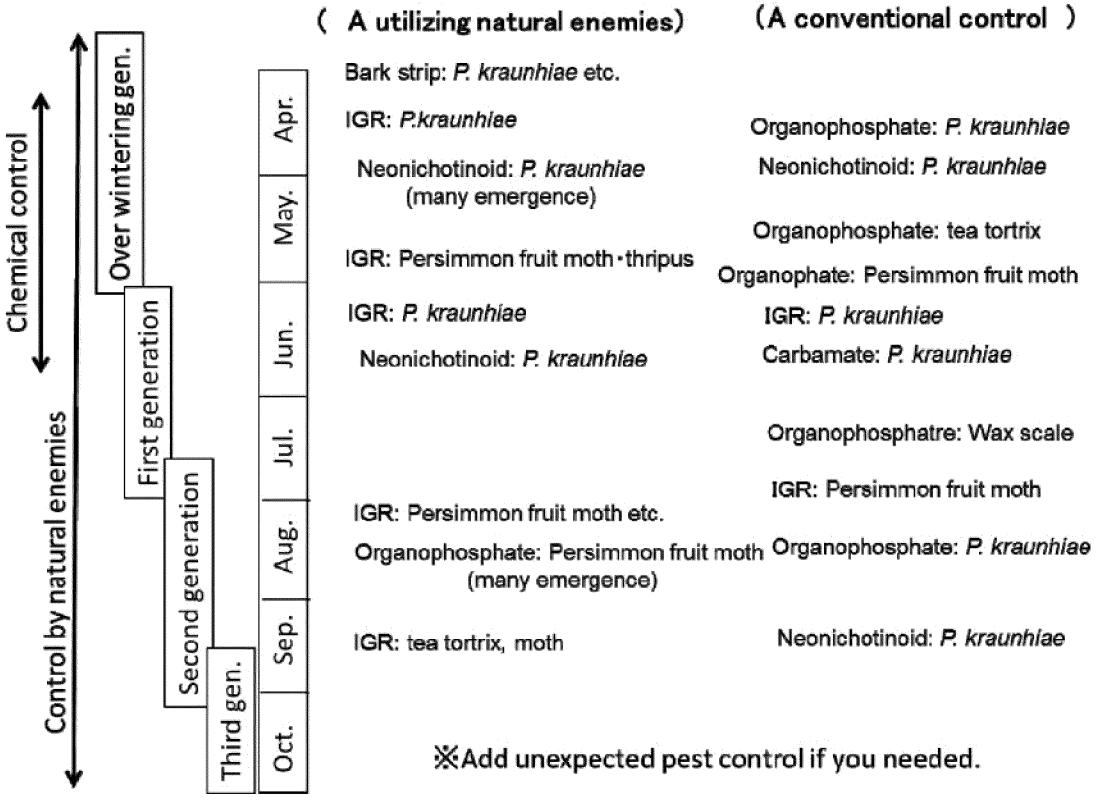

Fig. 6. *Planococcus kraunhiae* control system utilizing natural enemies in Japanese persimmon orchard.

P. kraunhiae control system utilizing natural enemies is established by safer pesticides for *All. subclavata*. This control system is ① Safer insecticides is used for other pests as possible, ② Chemical control for *P. kraunhiae* is used for over wintering generation and first generation only, after second generation is controlled by natural enemies in place of insecticides. ③ Unexpected pest, for example *Plautia crossota stali*, is controlled as necessary.

方　法

試験は，前年フジコナカイガラムシが大発生した吉井町のカキ栽培園（栽培品種は「富有」，面積約 50a，樹齢約 30 年生）で実施した。ほ場の一部を試験区として天敵活用型体系で，残りを慣行区として慣行の体系で防除し，各区から 3 樹ずつ選んで調査樹とした。試験は 2003 年から 2005 年まで 3 年間実施し，試験期間を通して区の配置は変更しなかった。

見取り調査

越冬世代から第三世代まで，各世代の発生密度を調べるため，4 月に各調査樹 100 新梢ずつ，6，8，10 月は各調査樹 100 果ずつについて，寄生しているフジコナカイガラムシ

およびマミーを計数した。なお，フジコナカイガラムシの卵塊および卵塊上の分散前のふ化幼虫群は 1 個体として扱った。

収穫時期の果実調査

収穫直前の 10 月下旬に各調査樹 100 果ずつ，合計 300 果／区についてフジコナカイガラムシおよびその他の害虫による被害の有無を調べた。

バンドトラップ調査

各調査樹に対して第 1 節の誘引バンドを樹当たり 5 本設置し，2 週間間隔で新しいものと交換した。回収した誘引バンドを顕微鏡下で観察し，誘引されたフジコナカイガラムシおよびバンド内のマミーを計数した。さらに，捕食者を除いた誘引バンドを密閉可能なビニル袋に収容して 25℃で保管し，約 2 か月後にビニル袋内で羽化している一次寄生蜂および未羽化マミーの数を調べ，以下の式でフジコナカイガラムシの被寄生率を算出した。

被寄生率＝誘引バンドから羽化した寄生蜂数／誘引バンドで採集されたフジコナカイガラムシ（卵塊を除く）およびマミー数×100

調査は，2003 年は 5 月から 10 月，2004 年と 2005 年は 4 月から１０月まで実施した。さらに越冬中の天敵も評価するため，2004 年と 2005 年は 10 月末に設置して翌 3 月に回収した誘引バンドも同様に調査した。

結果および考察

結果を Fig. 7 に示した。試験 1 年目の 2003 年は，試験開始時（4 月 18 日）のフジコナカイガラムシ越冬世代は試験区 0.07 頭／枝，慣行区 0.58 頭／枝と慣行区の方が多かった。その後，フジコナカイガラムシ防除は，試験区では 4 月の 2 回と 6 月の 2 回の計 4 回のみであったが，慣行区ではこの時期フジコナカイガラムシに登録のある薬剤が 6 回散布され，6 月 24 日の第一世代は慣行区 0.32 頭／果と，試験区 0.36 頭／果と同等まで低下した。その後，試験区ではフジコナカイガラムシに登録のある薬剤は散布されなかったが，慣行区では 6 月下旬および 7 月中旬の計 2 回，メチダチオン水和剤等の有機リン系殺虫剤が，8 月下旬および 9 月中旬の計 2 回，ネオニコチノイド系殺虫剤ジノテフラン水溶剤が散布された。しかし，8 月のフジコナカイガラムシ第二世代および 10 月の第三世代は，試験区，慣行区とも 0.4 頭／果程度と同等であり，この時期の薬剤散布はフジコナカイガラムシに対する防除効果が低いことが示唆された。ジノテフラン水溶剤は，第 2 節の試験結果でフジコナカイガラクロバチに対する悪影響が 17 日以上持続することが示された。10 月 29 日のマミーは，薬剤が散布されなかった試験区の 0.020 個／果に比べると慣行区では 0.013 個／果と少ないものの認められたことから，3 週間程度間隔をあけた 2 回散布であれば，寄生蜂類の活動に対する悪影響の程度は低い可能性がある。なお，この年の果樹カメムシ

類の果樹園飛来が少ないと予想されたため，試験区，慣行区とも果樹カメムシ類に対する防除は 9 月 30 日の合成ピレスロイド系殺虫剤シラフルオフェン水和剤のみであった。

2004 年は，試験区，慣行区とも 4 月 28 日のフジコナカイガラムシ越冬世代は 0.05 頭／枝で同等であった。その後のフジコナカイガラムシ防除は，試験区では 5 月上旬 1 回と 6 月の第一世代幼虫に対する 2 回の計 3 回であったのに対し慣行区では 6 回行われたが，6 月 24 日のフジコナカイガラムシ第一世代は慣行区 0.15 頭／果と試験区 0.05 頭／果の 3 倍であった。この原因として，5 月中下旬に散布された 2 回の殺虫剤は，フジコナカイガラムシ以外の害虫に対する防除であり，越冬世代成虫発生時期に当たるフジコナカイガラムシに対する効果が低かったためと考えられる。さらに，5 月から 6 月に散布された殺虫剤のうち，フジコナカイガラクロバチに対する悪影響があると考えられるものは，試験区ではネオニコチノイド系のアセタミプリド水溶剤 2 回のみであったのに対し，慣行区ではほぼ 10 日間隔でプロチオホス水和剤等計 5 回散布されており，これらが天敵の活動を阻害した可能性がある。天敵の活動を示すマミーは，試験区では非常に少ないながらも 6 月 24 日は 0.003 個／果と 4 月 28 日の 0 個／枝から増加したのに対し，慣行区では 6 月 24 日は 0 個／果と 4 月 28 日の 0.007 個／枝に比べて減少しており，5 月から 6 月に散布した薬剤が天敵類の活動に悪影響を及ぼし，その結果，6 月 24 日のフジコナカイガラムシ第一世代が増加した可能性がある。試験区，慣行区とも 8 月 24 日のフジコナカイガラムシ第二世代は 6 月 24 日に比べて増加したが，6 月 24 日のフジコナカイガラムシ第一世代が多かった慣行区では 0.10 頭／果と試験区 0.30 頭／果の 3 倍以上となった。この年は，6 月下旬から 8 月上旬にかけて，果樹カメムシ類の果樹園への飛来が多く認められた。そのため，試験区では 7 月に 3 回，慣行区ではさらに 8 月中旬に 1 回，ネオニコチノイド系殺虫剤を主体とした防除が実施された。そのためか，8 月 24 日の調査において試験区ではマミーは全く確認されなかった。慣行区ではフジコナカイガラムシが多かったためか，マミーが 0.003 頭／果確認されたものの，フジコナカイガラムシの発生量に対しては少なく，10 月 25 日のフジコナカイガラムシ第三世代は 0.68 頭／果と多かった。一方，試験区では 10 月 25 日にマミーが 0.007 個／果確認され，フジコナカイガラムシも 0.14 頭／果に抑えられた。以上の結果から，4 月の越冬幼虫および 6 月の第一世代幼虫に対する防除でフジコナカイガラムシの密度を確実に抑制することが，その後の発生を抑えるために重要であることが示唆された。

2005 年の越冬世代は 2004 年の第三世代が越冬したものであるため，2005 年 4 月 25 日のフジコナカイガラムシ越冬世代は，試験区（0.11 頭／枝）に比べて慣行区（0.27 頭／枝）の方が多かった。試験区，慣行区ともに 4 月下旬，5 月上旬の越冬世代，6 月上旬と中旬の第一世代幼虫に対して計 4 回薬剤防除が行われた。慣行区ではさらに，5 月中旬および下旬に他の害虫に対する防除としてフジコナカイガラムシに効果のある薬剤散布されたが，フジコナカイガラムシ越冬世代成虫発生時期であったため追加した薬剤のフジコナカイガ

ラムシに対する防除効果は認められず，両区とも 6 月 22 日の第一世代はほぼ横ばいに推移した。4 月から 7 月までに散布された薬剤のうち，天敵類に悪影響を及ぼすと考えられる薬剤の使用回数は，試験区では 2 回であったのに対し，慣行区では 6 回であった。8 月 23 日のマミーは，慣行区 0.013 個／果と試験区 0.003 個／果の約 4 倍と多いものの，フジコナカイガラムシの発生量（慣行区 0.75 頭／果で試験区 0.10 頭／果の約 7 倍）に比べると少なく，散布薬剤が天敵類の活動に影響した可能性がある。8 月から 9 月にかけて，試験区，慣行区ともにチョウ目害虫等に対する防除が行われた。試験区で使われた剤はクロルフルアズロン水和剤等フジコナカイガラムシに対する防除効果が無い IGR 剤が主体であったが，慣行区ではジノテフラン水溶剤等ネオニコチノイド系殺虫剤が主体で，フジコナカイガラムシに対する効果が期待できる剤であった。しかし，2003 年の結果と同様，この時期の防除はフジコナカイガラムシに対する効果は認められなかった。さらに，これらの天敵類に悪影響を及ぼす剤は概ね 2～3 週間間隔で 4 回散布されており，10 月 26 日のフジコナカイガラムシ第三世代発生量（慣行区 1.54 頭／果で試験区 0.34 頭／果の約 5 倍）に対してマミー（慣行区 0.007 個／果で試験区 0.013 個の約 1/2）が少ない結果を招いたと考えられた。なお，この年のフジコナカイガラムシ果樹カメムシ類の果樹園飛来が少ないと予想されたため，試験区，慣行区とも果樹カメムシ類に対する防除は 9 月 25 日の合成ピレスロイド系殺虫剤シラフルオフェン水和剤のみであった。

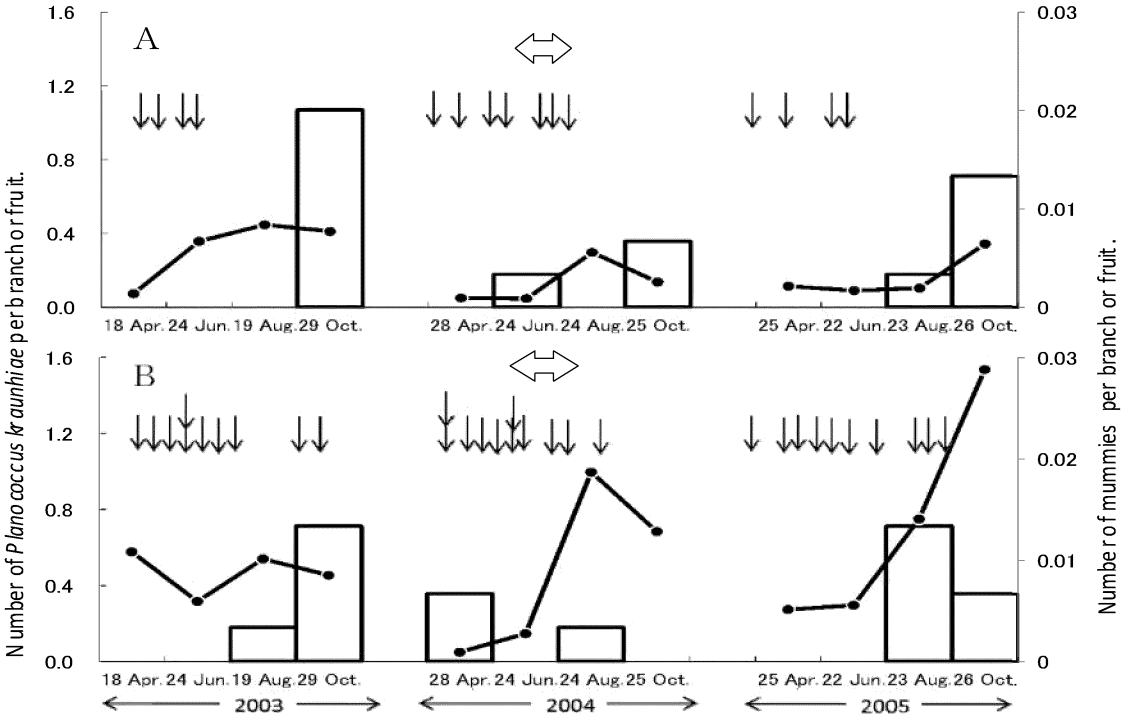

Fig. 7. Effect of integrated pest management system against *Planococcus kraunhiae* in Japanese persimmon orchard.

Line and bar indicate number of *P. kraunhiae* and mummies per band-trap respectively. A shows utilizeing natural enemies and B shows conventional control. White arrows indicate the term brownwinged green bug, *Plautia crossota stali*, came into orchard. Fine arrows indicate insecticide application on *P. kraunhiae*.

天敵活用型防除体系を実施した試験区では，殺虫剤散布回数は 2003 年 10 回，2004 年 9 回，2005 年 8 回で，慣行区の 12 回，13 回，11 回に比べて 2～4 回削減できた。薬剤費も 10a あたり 2,000～6,500 円削減できた。試験を実施した 3 年間を通して試験区のフジコナカイガラムシの発生を慣行区より低く抑えることができたため，収穫時期の試験区の被害果率は 2003 年 6.0%，2004 年 4.7%，2005 年 12.7%と，いずれも慣行区の 14.3%，11.1%，34.0%の半分以下に抑えることができた。各区に散布した殺虫剤のうち，フジコナカイガラクロバチに悪影響を及ぼす薬剤の散布回数は，試験区で 2003 年 3 回，2004 年 5 回，2005 年 3 回で，慣行区の 8 回，10 回，10 回に比べると 5～7 回少ない。土着天敵の活動を示す誘引バンド内フジコナカイガラムシの被寄生率は，試験 1 年目の 2003 年は調査期間が 5 月から 10 月とその後の 2 年に比べて短かったためか，試験区 20.9%に比べて慣行防除区 39.0%の方が高かったが，4 月から翌年 3 月まで調査を実施した 2004 年は試験区 17.0%，慣行区 14.2%，2005 年は試験区 11.7%，慣行区 7.0%と，2 年目以降は天敵活用型防除体系区の方が高く（Table 3），天敵に悪影響を及ぼす薬剤の使用を控えたことで，天敵を活用できたと考えられる。つまり，天敵に悪影響を及ぼす薬剤の使用を控えた天敵活用型防除体系は，土着天敵を有効に活用することにより慣行の防除体系に比べて薬剤散布回数および薬剤費を削減してもフジコナカイガラムシによる被害を低く抑えることができた。

天敵活用型防除体系のフジコナカイガラムシ以外の害虫に対する防除効果についても検討を行った。ハマキムシ類による被害果率は，試験区では 2003 年 0.3%，2004 年 0.3%，2005 年 1.0%と慣行区の 0.3%，0%，6.3%に比べてやや少なく，薬剤による防除効果が認められた。一方，果樹カメムシ類による被害果率は，試験区では 2003 年 6.7%，2004 年 0.7%，2005 年 6.0%と，慣行区 0.7%，0%，1.0%に比べてやや高かった。果樹カメムシ類の多飛来が認められた 2004 年は，試験区，慣行区とも多飛来時に果樹カメムシ類に対する薬剤防除が 2～3 週間間隔で実施された。このため，果樹カメムシ類による被害は同等に抑えられた。一方，果樹カメムシ類が少発生であった 2003 年および 2005 年は，慣行区では果樹カメムシ類にも効果があるネオニコチノイド系および合成ピレスロイド系殺虫剤が 8 月から 9 月に 3 回および 4 回散布されたが，試験区ではいずれの年も 9 月下旬の合成ピレスロイド系殺虫剤 1 回のみと少なかった。これにより，試験区では果樹カメムシ類による被害がやや多く発生したと考えられる。果樹カメムシ類が少発生と予測される年であっても，時期や園地によっては被害が発生する可能性があるため，場合によっては薬剤散布を追加する必要がある。

Table 3　Effect of pest control system utilizing natural enemies for *Planococcus kraunhiae* in Japanese persimmon orchards (Yoshii, Fukuoka).

year	Pest control method	Insecticide applied times [a]	Cost (¥/10a)	Infested fruit rate (%)			Parasitization rate [b] (%)
				Planococcus kraunhiae	*Adoxophyes honmai*	*Plautia crossota stali*	
2003	Utilizing natural enemies	10　(3)	19,902	6.0	0.3	6.7	20.9
	Conventional control	12　(8)	21,703	14.3	0.3	0.7	39.0
2004	Utilizing natural enemies	9　(5)	16,952	4.7	0.3	0.7	17.0
	Conventional control	13 (10)	23,552	11.1	0	0	14.2
2005	Utilizing natural enemies	9　(3)	20,432	12.7	1.0	6.0	11.7
	Conventional control	11 (10)	22,495	34.0	6.3	1.0	7.0

a: The number in a parenthesis are applied times of insecticide have a baneful influence on *Allotropa subclavata*.
b: Parasitization rate = Number of primary parasitic wasp emerged from band-trap / Number of *P. kraunhiae* or mummy without eggs caught by band-trap × 100. Term is May to October in 2003 and April to October and March of next year in 2004 and 2005.

第４節　殺虫剤樹幹塗布法

ネオニコチノイド系殺虫剤は天敵のフジコナカイガラクロバチに対して長期間悪影響を及ぼすが，フジコナカイガラムシに対する防除効果は高い（森下, 2006）。このネオニコチノイド系殺虫剤を天敵に悪影響を及ぼさずにフジコナカイガラムシの防除に使用する方法を検討した。

ネオニコチノイド系殺虫剤は浸透移行性を有することから，直接的な殺虫効果を狙った水溶剤等の茎葉散布に加え，作物根部から吸収移行させて害虫が加害する際の殺虫効果を狙った粒剤の水稲における育苗箱処理や野菜における土壌混和など，その機能を利用した処理方法が多く実用化されている（赤山，2002；橋野，2002；山田，2003)。果樹ではカンキツ類でミカンハモグリガ *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae) やミカンキジラミ *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) を対象とした水溶剤の土壌潅注処理や高濃度液樹幹散布が検討されている（宮田・岡崎，2002；安田ら，2007）ものの，カキでは虫体への付着を狙った茎葉散布以外の処理方法に関する知見は無い。果樹の剪定の際，切り口にチオファネートメチルペースト剤などの癒合促進剤を塗布する。これにヒントを得て，カキの樹幹部に浸透移行性のあるネオニコチノイド系殺虫剤を塗布する樹幹塗布法を考案し，その効果についてジノテフラン水溶剤を用いてフジコナカイガラムシを対象に検討した。さらに，処理条件や降雨が密度抑制効果に及ぼす影響や，天敵のフジコナカイガラクロバチに及ぼす影響の有無を検討した。

材料および方法

試験１　チオファネートメチルペースト剤に混和したジノテフラン水溶剤の樹幹塗布によるフジコナカイガラムシの防除効果

フジコナカイガラムシは主に若齢幼虫で越冬し，４月上旬から中旬にかけて新芽に移動する（河合，1980)。この越冬世代のフジコナカイガラムシ防除を目的に，福岡県農林業総合試験場内のカキ樹で試験を行った。供試樹は，品種「伊豆」および「富有」，樹齢 26 年生，樹高約 3.5m，樹幹部直径約 20cm であった。2005 年 3 月 4 日に，5 樹の地際に近い樹幹部の粗皮を金属製のヘラを用いて約 30cm の幅で完全に削った後，ジノテフラン顆粒水溶剤 20g をチオファネートメチルペースト 60g に混和した塗布剤を樹当たり 80g 刷毛で塗布して処理区とした（Fig. 8A)．なお，以下の試験期間中，処理区，無処理区とも他の殺虫剤の散布は行わなかった。

4 月 18 日（処理 45 日後）に，各樹から地上 150cm 程度の新梢 5 本を選んで調査枝とし，それぞれに場内の実験室で累代飼育しているフジコナカイガラムシのふ化幼虫約 50 頭を筆で接種した。枝の基部には粘着剤（商品名：フジタングル，株式会社富士薬品製）を塗って接種虫の逃亡と捕食者の侵入を防ぎ，3～4 時間後に定着数を調べた。さらに，接種 3 日後（4 月 21 日)，　接種 8 日後(4 月 26 日)および接種 42 日後（5 月 30 日）に調査枝上の

フジコナカイガラムシを計数した。

試験 2　チオファネートメチルペースト剤に混和したジノテフラン水溶剤の樹幹塗布が天敵に及ぼす影響

樹幹塗布法がフジコナカイガラクロバチ成虫の生存に及ぼす影響を調べるため，小澤ら（1998）の処理葉接触法を参考に，試験を行った。試験 1 の処理樹と無処理樹から葉を採取し，2×4cm の葉片を作成した。この葉片と 2×4cm のろ紙（東洋濾紙社製）を収めた直径 3cm，長さ 20cm の試験管内に，第 1 節に記したフジコナカイガラクロバチ雌雄成虫約 20 頭を放し，餌としてハチミツを与えて試験管の口をパラフィルムで密閉した。25℃，自然日長条件下で飼育し，24 時間後の死虫率を算出した。試験は 2005 年 4 月 26 日，5 月 17 日，5 月 30 日，6 月 20 日の計 4 回，いずれも 3 反復行った。

試験 3　塗布剤の混和資材がフジコナカイガラムシの防除効果に及ぼす影響

チオファネートメチルペースト剤は剪定等による切り口に塗布する傷等の癒合促進剤であるため，塗布後固化し 1 年以上とどまって塗布部を保護する。ジノテフラン水溶剤を混和して樹幹に塗布した場合，翌年の処理時期まで固化した塗布剤が固着しており，粗皮削り作業が困難となる。そこで，チオファネートメチル剤に代わる混和資材として水を用い，効果を検証した。

試験は福岡県農林業総合試験場内のカキ樹で行った。供試樹は，品種「伊豆」および「富有」，樹齢 27 年生，樹高約 3.5m，樹幹部直径約 20cm で，各区 4 樹ずつとした。2006 年 3 月 23 日に地際に近い樹幹部の粗皮を金属製のヘラを用いて約 40cm の幅で完全に削った後，水 80g にジノテフラン顆粒水溶剤 40g を混和した塗布剤を刷毛で塗布し，水混和区とした（Fig. 8B)。水の代わりにチオファネートメチルペースト剤 80g にジノテフラン顆粒水溶剤 40g を混和したものを同様に塗布した樹はペースト混和区とした。なお，以下の試験期間中，いずれの区も他の殺虫剤の散布は行わなかった。

フジコナカイガラムシに対する防除効果の判定は試験 1 と同様に行った。4 月 18 日（処理 25 日後）に，各樹から地上 150cm 程度の新梢 5 本を調査枝として選び，各枝に場内の実験室で累代飼育しているフジコナカイガラムシのふ化幼虫約 50 頭を筆で接種して 3～4 時間後に定着数を調べた。接種 10 日後（4 月 28 日）に調査枝上のフジコナカイガラムシを計数し，各区接種日のフジコナカイガラムシ数を 100 として生存虫率を算出した。

試験 4　粗皮削りの深浅が防除効果に及ぼす影響

樹幹塗布法は粗皮を削った主幹部に高濃度殺虫剤を処理する。塗布剤の殺虫成分を樹体内に確実に浸透させるためには粗皮をできる限り除去する必要があると予想されるが，木質部を傷つけないよう注意を払いながら丁寧に削るため作業には時間がかかる。しかし，

ネオニコチノイド系殺虫剤は浸透移行性が高いことから表面の粗い樹皮の除去のみでも樹体内に浸透するのであれば粗皮削り作業が省力化できる。そこで，粗皮削りの深浅がフジコナカイガラムシの密度抑制効果に及ぼす影響を検証した。

試験は福岡県農林業総合試験場内のカキ樹で行った。供試樹は，品種「平核無柿」，樹齢 27 年生，樹高約 3.5m，樹幹部直径約 20cm で，各区 1 樹ずつとした。2006 年 5 月 24 日に，地際に近い樹幹部の粗皮を金属製のヘラを用いて約 4 0cm の幅で木質部近くまで深く丁寧に削った樹を深削り区，表面の粗い樹皮のみを薄く削った樹を浅削り区とした。それぞれ削った場所に，水 80g にジノテフラン水溶剤 40g を混和した塗布剤を刷毛で塗布した。なお，以下の試験期間中，いずれの虫約 200 頭を筆で接種して 3～4 時間後に定着数を調べた。接種 9 日後（6 月 2 日）に調査枝上のフジコナカイガラムシを計数し，各区接種日のフジコナカイガラムシ数を 100 として生存虫率を算出した。

試験 5　塗布剤処理面積が防除効果に及ぼす影響

塗布剤を主幹部に処理する際，処理面積が小さいと塗布剤を一度で処理しきれず，重ね塗りする必要がある。処理面積を拡大することにより，処理時間を短縮できる上，塗布剤の有効成分が樹体内に浸透しやすくなると考えた。そこで，塗布剤処理面積がフジコナカイガラムシの密度抑制効果に及ぼす影響を検証した。

試験は福岡県農林業総合試験場内のカキ樹で行った。供試樹は，品種「伊豆」，「松本早生富有」，「富有」，樹齢 32 年生，樹高約 3.5m，樹幹部直径約 20cm で，各区 3 樹ずつとした。2011 年 3 月 2 日に，水圧式粗皮削り機を用いて地際付近から主枝にかけて 70cm の幅で粗皮を完全に削り，水 40g にジノテフラン水溶剤 40g を混和した塗布剤を刷毛で塗布した樹を主幹主枝区（Fig. 8C), 同様に主幹の地際付近 30cm のみの樹皮を削って塗布剤を処理した樹を主幹のみ区とした（Fig. 8B)。なお，以下の試験期間中，いずれの区も他の殺虫剤の散布は行わなかった。

フジコナカイガラムシに対する防除効果の判定は試験 1 と同様に行った。4 月 22 日(処理 51 日後）に各樹から地上 150cm 程度の新梢 5 本を選んで調査枝とし，各枝に場内の実験室で累代飼育しているフジコナカイガラムシのふ化幼虫約 50 頭を筆で接種して 3～4 時間後に定着数を調べた。接種 21 日後（5 月 13 日）に調査枝上のフジコナカイガラムシを計数し，各区接種日のフジコナカイガラムシ数を 100 として生存虫率を算出した。

試験 6　塗布後の降雨が防除効果に及ぼす影響

水にジノテフラン水溶剤を混和した塗布剤が降雨により流亡した場合，防除効果が低下する可能性がある。そこで，塗布剤処理から降雨による流亡までの時間がフジコナカイガラムシ密度抑制効果に及ぼす影響を検証した。

試験は福岡県農林業総合試験場内のカキ樹で行った。供試樹は，品種「伊豆」および「富

有」，樹齢 32 年生，樹高約 3.5m，樹幹部直径約 20cm で，各区 3 樹ずつとした。2011 年 3 月 2 日 11 時に，水圧式粗皮削り機を用いて供試樹の地際付近から主枝にかけて 70cm の幅で粗皮を完全に削り，水 40g にジノテフラン水溶剤 40g を混和した塗布剤を刷毛で塗布した。塗布 4 時間後の同日 15 時（4 時間区），12 時間後の同日 23 時（12 時間区），48 時間後の 4 日 11 時（48 時間区）にじょうろを用いて水 7 リットルで塗布剤を洗い流した。塗布処理後水で洗い流さない放置区は，3 月 6 日（塗布 4 日後）の 15ｍｍの降雨により塗布剤はほぼ全て流亡した。なお，以下の試験期間中，いずれの区も他の殺虫剤の散布は行わなかった。

フジコナカイガラムシに対する防除効果の判定は試験 1 と同様に行った。4 月 22 日(処理 51 日後）に各樹から地上 150cm 程度の新梢 5 本を選んで調査枝とし，各枝に場内の実験室で累代飼育しているフジコナカイガラムシのふ化幼虫約 50 頭を筆で接種して 3～4 時間後に定着数を調べた。接種 21 日後（5 月 13 日）に調査枝上のフジコナカイガラムシを計数し，各区接種日のフジコナカイガラムシ数を 100 として生存虫率を算出した。

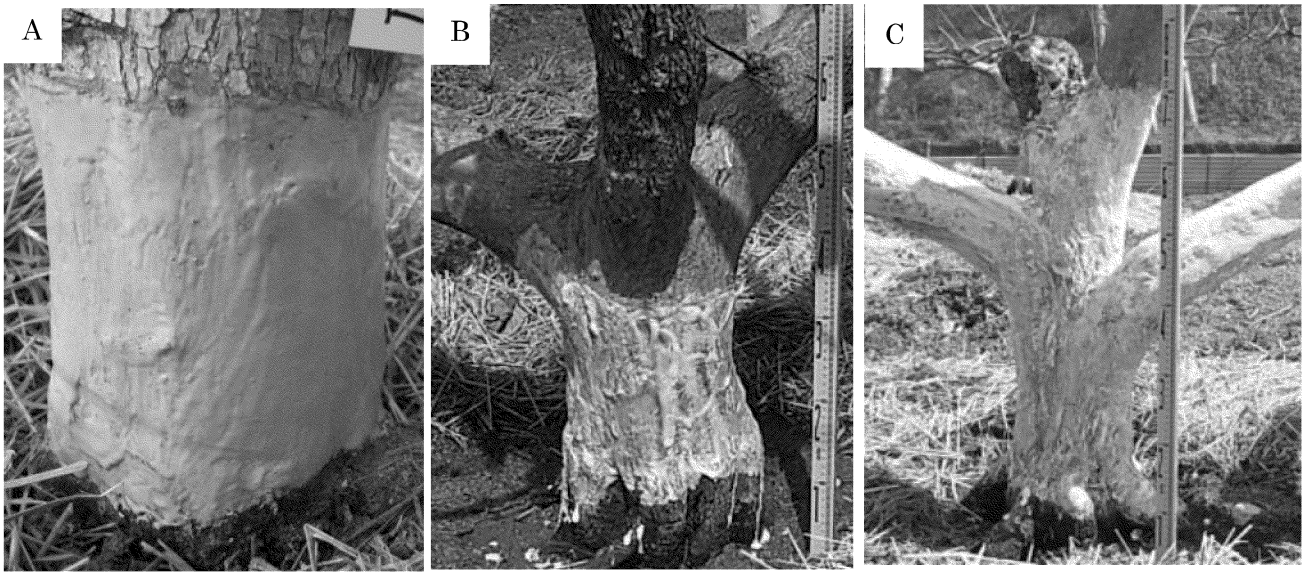

Fig. 8. Insecticide application on the Japanese persimmon trees after removing flayed barks to control *Planococcus kraunhiae*.

(A) Dinotefuran watersoluble (DW) with thiophanate-methyl paste on the main trunk,
(B) DW with water on the main trunk, (C) DW with water on the main trunk and boughs.

結果および考察

新梢に接種したフジコナカイガラムシに対する，チオファネートメチルペースト剤に混和したジノテフラン水溶剤樹幹塗布による防除効果を Table 4 に示した（試験 1)。無処理区におけるフジコナカイガラムシ数は，接種 8 日後の 4 月 26 日まで 50 頭前後で推移したが，処理区では接種 3 日後の 4 月 21 日からフジコナカイガラムシ数が漸次減少した。つまり，展葉前の 3 月に樹幹に高濃度殺虫剤を塗布することにより，殺虫成分が樹液の流動に乗って樹体内に移行し，気温上昇後に越冬場所から離脱して新梢を加害するフジコナカ

イガラムシに対し，密度抑制効果が認められた。越冬世代のフジコナカイガラムシに対する防除は，これまで主に薬剤散布によって行われてきたが，その散布時期の決定は難しい。浸透移行性の低い薬剤を散布する場合，散布薬剤が越冬場所に潜むフジコナカイガラムシに到達しなければ，越冬場所から離脱して薬剤に接触して初めて防除効果が現れる。したがって，薬剤による防除時期を決定する際は，越冬場所からの離脱時期と薬剤の残効期間を考慮する必要がある。今回開発した高濃度殺虫剤の樹幹塗布法は，殺虫成分が比較的長期間樹体内に存在する。しかも，越冬場所から離脱したフジコナカイガラムシは必ず樹液を摂取する。したがって，この手法は越冬世代に対する確実な防除効果が期待される。また，「食品衛生法などの一部を改正する法律」(ポジティブリスト制度) が 2006 年 5 月に施行されたことに伴い，隣接する農作物に対する農薬飛散防止が強く求められている。樹幹塗布法は農薬を樹幹部に直接塗布することから散布のような農薬飛散の心配が無く，この処理方法は農薬飛散防止のための技術としても期待される。

Table 4 Effect of applied Dinotefuran on trunk on *Planococcus kraunhiae*.

	Loosing day (18 Apr.)	3 days after (21 Apr.)	8 days after (26 Apr.)	42 days after (30 May)
Applied	60.4±5.0 *	14.8±3.0 *	6.4±2.9 *	3.0±2.7 *
Control	43.3±2.5	51.2±5.1	48.5±5.2	20.6±2.4

Dinotefran water-soluble with thiophanate-methyl paste is applied to the main tree trunks of Japnaese persimmon after removing flayed barks on 4 May 2005. Numbers are mean ± SE of *P. kraunhiae* living on a branch of five repetition. * shows statistically different between applied and control according to t-test (5%).

Table 5 Effect of applied Dinotefuran on trunk on *Allotropa subclavata*.

	26 Apr.	17 May	30 May	20 Jun.
Applied	0 －	1.7± 1.7 ns	10.2±8.1 ns	12.1±1.6 ns
Control	12.9±7.8	15.2±15.2	4.8±4.8	12.8±3.9

Dinotefran water-soluble mixed with thiophanate-methyl paste is applied to the main tree trunks of Japnaese persimmon after removing flayed barks on 4 May 2005. Date expressed dead rate of *A. subclabata* (mean % ± SE of three repetition). Ns show no significant difference by t-test (5%) after arcsin transformation. － indicates out of test. Dinotefuran mixed with thiophanate-methyl past was applied at 4 March 2005.

樹幹塗布が天敵のフジコナカイガラクロバチ成虫に及ぼす影響を Table 5 に示した（試験 2)。4 月 26 日の接種試験におけるフジコナカイガラクロバチの死虫率は，処理区 0%，無処理区 12.9%であった。その後も，試験区の死亡率は 1.7～12.1%と低く，無処理区と有意な差は認められなかった（student t-test, P<0.05)。ジノテフラン水溶剤は，通常使用する濃度でカキに散布すればフジコナカイガラムシの有力な土着天敵であるフジコナカイガラクロバチに対して長期間悪影響を及ぼすが（Table 2)，チオファネートメチルペースト剤に混和したジノテフラン水溶剤を樹幹部に塗布した場合，フジコナカイガラムシに対す

る高い防除効果が認められた 4 月 26 日の時点においても処理樹から採集した葉に接種したフジコナカイガラクロバチの死亡率は低く，樹幹塗布法はフジコナカイガラクロバチ成虫の生存に悪影響を及ぼさないことが示された。したがって，樹幹塗布法は天敵との併用も可能である。

塗布剤の混和資材がフジコナカイガラムシの防除効果に及ぼす影響を Fig. 9 に示した（試験 3)。接種 10 日後の 4 月 28 日の生存虫率は，無処理区で 60.0%であったのに対し，水混和区 10.7%，ペースト混和区 14.5%といずれの区も低く，フジコナカイガラムシに対する同等の密度抑制効果が認められた。チオファネートメチルペースト剤は塗布後固化すると 1 年以上固着するため，塗布剤を処理した翌年は粗皮を削りにくく作業性が悪いが，水であれば長期間固着することはない上，経費も抑えられる。現在，ジノテフラン水溶剤の水による 2 倍希釈液の塗布が農薬登録されており，福岡県内のカキ栽培で普及している。

塗布剤処理前に行う粗皮削りの深浅がフジコナカイガラムシの防除効果に及ぼす影響を Fig. 10 に示した（試験 4)。接種 9 日後の 6 月 2 日の生存虫率は，粗皮を木質部近くまで深く丁寧に削った深削り区では 5.0%であったのに対し，表面の粗い樹皮のみを薄く削った浅削り区では 65.5%と高かったことから，樹幹塗布法では塗布剤処理前に粗皮を木質部近くまで深く丁寧に削る必要があると考えられる。福岡県のカキ栽培では樹皮下で越冬する害虫の耕種的防除として，慣行的に冬季に樹幹の粗皮削りが行われるため，樹幹塗布法はカキ生産者が比較的とりくみやすい技術であると考えられるが，塗布剤処理部はより丁寧に削る必要がある。

塗布剤処理面積がフジコナカイガラムシの防除効果に及ぼす影響を Fig. 11 に示した（試験 5)。接種 21 日後の 5 月 13 日の生存虫率は，主幹のみに処理した区では 25.5%であったのに対し，主枝まで処理した主幹主枝区では 10.6%と低かった。したがって，主幹に加え主枝部まで広く処理した方が防除効果は高かった。さらに，主幹のみに処理する場合，塗布剤の量に対して処理部位が狭すぎることから重ね塗りを行う必要があり作業性に問題があったが，処理部位を主枝まで広げることにより作業効率も向上すると思われる。

水にジノテフラン水溶剤を混和する塗布剤はチオファネートメチルペースト剤と混和する場合に比べ作業性や経費の面で使いやすいが，降雨による流亡で防除効果の低下が懸念される。そこで，塗布から降雨による流亡までの時間がフジコナカイガラムシ密度抑制効果に及ぼす影響を検証した（Fig. 12。試験 6)。接種 21 日後の 5 月 13 日の生存虫率は，塗布 4 時間後に塗布剤を洗い流した 4 時間区では 18.9%，12 時間区では 17.0%，48 時間区では 12.5%，塗布 4 日後の降雨まで塗布剤がとどまった放置区では 10.6%と塗布剤流亡までの時間が長いほど低くなった。このことから，塗布剤はできる限り長くとどまらせることで防除効果を向上させると考えられる。したがって，樹幹塗布を行う際には天候を確認し，少なくとも数日は降雨が予想されない日を選んで実施するのが良いと考えられる。

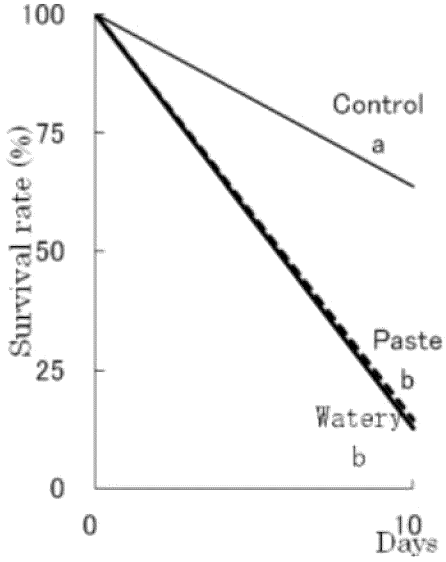

Fig. 9. Control effect of adulterant of embrocation on *Planococcus kraunhiae*.

Dinotefran water-soluble mixed with thiophanate-methyl paste or water is applied to the main tree trunks of Japnaese persimmon after removing flayed barks on 23th March 2006. Survival rates are mean of *P. kraunhiae* living on a branch of five repetitions, different letters indicate significantly different after arcsin transformed (Tukey-Kramer' s HSD test, $P<0.01$).

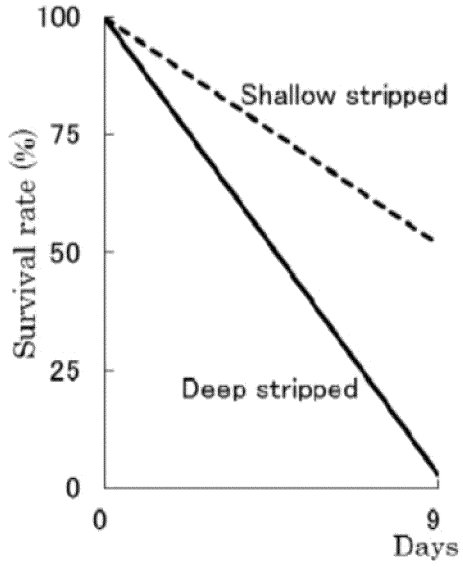

Fig. 10. Control effect of bard stripped level on *Planococcus kraunhiae*.

Dinotefran water-soluble mixed with water is applied to the main tree trunk of Japnaese persimmon after removing flayed barks deep or shallow on 24 May 2006. Survival rates are mean of *P. kraunhiae* living on a five branch, different letters indicate significantly different after arcsin transformed (Tukey-Kramer' s HSD test, $P<0.01$).

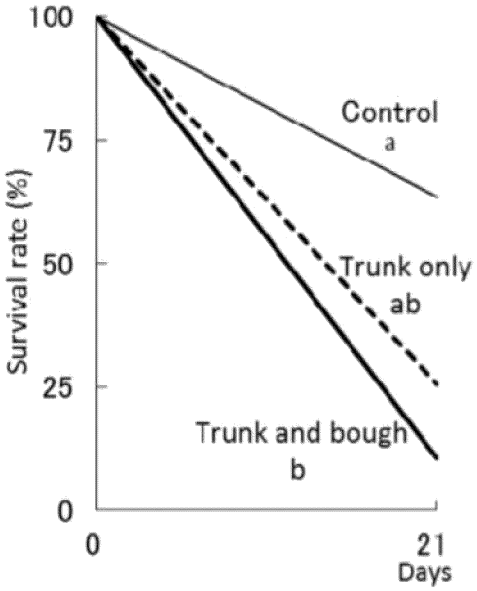

Fig. 11. Control effect of embrocation applied area on *Planococcus kraunhiae*.

Dinotefran water-soluble mixed with water is applied to only the main tree trunks or main trunk and bough of Japnaese persimmon after removing flayed barks on 2 March 2011. Survival rates are mean of *P. kraunhiae* living on a branch of three repetition, different letters are significantly different after arcsin transformed (Tukey-Kramer' s HSD test, $P<0.05$).

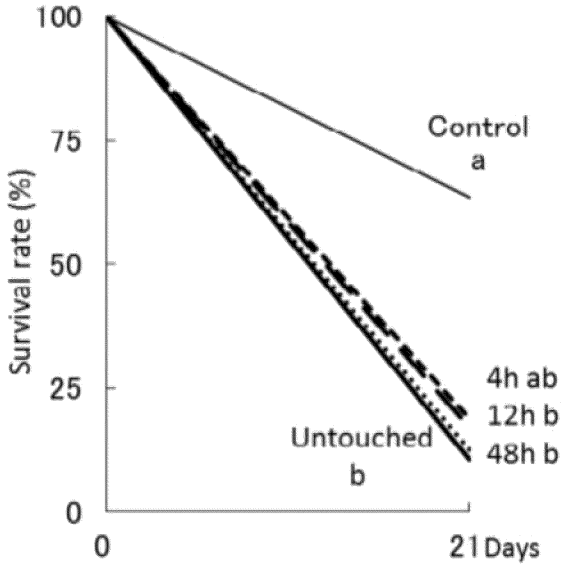

Fig. 12. Control effect of embrocation stay period on *Planococcus kraunhiae*.

Dinotefran water-soluble mixed with water is applied to the main tree trunks of Japnaese persimmon after removing flayed barks on 2 March 2011. 4h or 12h or 48h were removed embrocation by water 4h, 12h, 48h after applied, respectively. Untouched was removed embrocation by the rain four days after applied. Survival rates are mean of *P. kraunhiae* living on a branch of three repetition, different letters are significantly different after arcsin transformed (Tukey-Kramer' s HSD test, $P<0.05$).

第２章　性フェロモンを活用した防除技術

近年，消費者のニーズや環境への配慮，生産コストの削減や生産者の高齢化に伴う労働力不足を補うため薬剤散布回数の削減が求められている。それを実現する手段の一つが性フェロモンの利用である。殺虫剤散布回数を削減するためには，最も効果の高い時期に殺虫剤を散布することが重要である。発生予察における成虫の発生調査は誘蛾灯，食餌誘殺，幼虫の飼育などがあるが，多大な労力と高度な技術を要する。また，誘蛾灯に誘殺されない種では成虫の発生消長の把握が困難である（佐藤，1984；田中，1979)。しかし，性フェロモントラップでは他種の昆虫の誘殺が少なく，設置が容易なことから発生調査に適している。フェロモントラップにおける誘殺最盛日から薬剤散布適期を予測する方法はナシヒメシンクイ *Grapholita molesta* (Busck) (Lepidoptera: Tortricidae) やリンゴコカクモンハマキ *Adoxophyes orana fasciata* Walsingham (Lepidoptera: Tortricidae)，モモハモグリガ *Lyonetia clerkella* (Linnaeus) (Lepidoptera: Lyonetiidae) 等の果樹害虫で確立されている（田中，1989；白崎・山田，1983)。また，ナシヒメシンクイやモモシンクイガ *Carposina sasakii* Matsumura (Lepidoptera: Carposinidae) では性フェロモンを用いた交信撹乱法により，殺虫剤散布回数の削減に成功している（田中，1986；佐藤，1992)。一方，クワコナカイガラムシやミカンヒメコナカイガラムシなどのコナカイガラムシ類では性フェロモンの存在およびその成分が明らかになっていることから（Negishi et al., 1980; Arai et al., 2003)，フジコナカイガラムシにも同様に性フェロモンが存在する可能性が高く，その解明により効率的な防除技術の開発が期待される。そこで，防除技術開発の資材としてフジコナカイガラムシの性フェロモンの探索を行った。性フェロモン成分の同定のためには，雌の放出物を採集する必要がある。本種の場合，100 万雌日当量が必要であると推測された（手柴ら，2009)。実際には 180 万雌日当量を集めて有効成分が 2-イソプロピリデン-5-メチル-4-ヘキセン-1-イルブチレートであることを明らかにし (Sugie et al., 2008)，これを活用した防除技術を開発した。

第１節　発生予察

フジコナカイガラムシの防除適期は若齢幼虫発生時期であり，特にふ化幼虫発生時期の防除効果が高い。しかし，ふ化幼虫は微小であるため生産者がほ場で確認するのは難しい。本種は世代を繰り返すと様々な齢期の個体が混在してくるため，比較的ふ化幼虫の発生がそろう第１世代幼虫発生時期の防除が重要であるが，この時期は密度が低いため目視による確認はさらに困難である。そこで，フジコナカイガラムシの性フェロモン剤を用いたふ化幼虫発生時期予測法の精度を検証した。

材料および方法

調査は，福岡農総試場内の無防除カキ園および朝倉市の減農薬栽培園において，2006年3月24日と，2007年3月24日（筑紫野市）および4月17日（朝倉市）から7月末まで行った。

第1世代ふ化幼虫発生時期の予測

フジコナカイガラムシ雄成虫の誘引源として，合成したフジコナカイガラムシ性フェロモン主成分 2-イソプロピリデン-5-メチル-4-ヘキセン-1-イルブチレート（農業環境技術研究所製）100 μgをゴムセプタム（直径 10 mm，長さ 19 mm: West pharmaceutical service 製 1F sleeve stopper 1888 gray）に含浸させたものを用いた。白色厚紙（9cm×20cm）をビニルシートで覆い，表面に害虫捕捉用スプレー式透明粘着剤（商品名：金竜スプレー，株式会社マルゼン化工製）を噴霧した粘着板と誘引源を組み合わせたフェロモントラップを各ほ場に1個，地面から約 1.5m の高さに粘着面が地面に対して垂直になるように設置した（Fig. 13）。誘引源は約1か月毎に，粘着板は3～10日毎に新しいものと交換し，回収した粘着板に誘殺されたフジコナカイガラムシ雄成虫を顕微鏡下で数え，日当たり誘殺数を算出した。4～5月の誘殺盛期を越冬世代雄成虫発生盛期として，太宰府および朝倉の平均気温（アメダスデータ平年値）を基に有効積算温度法を用いて第1世代ふ化幼虫発生時期を算出した。なお，産卵前期間および卵の発育零点および有効積算温度はそれぞれ 8.1℃，10.7℃，225 日℃，112 日℃を用いた（澤村・奈良井，2008）。

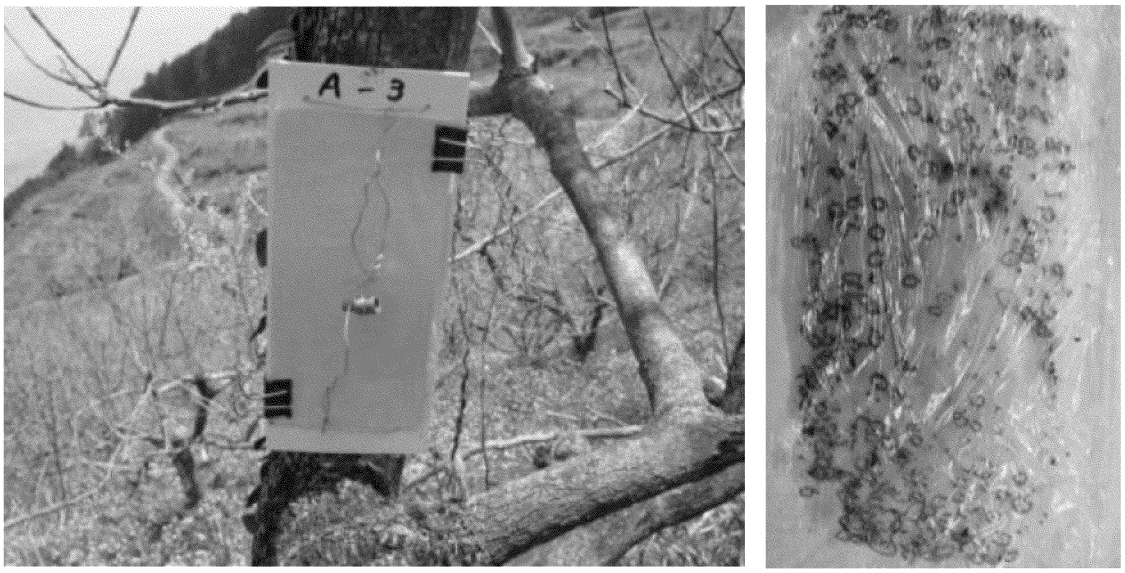

Fig. 13. A sex pheromone trap of *Planococcus kraunhiae* on a Japanese persimmon tree (A) and caught male on sticky board (B, blue circle).

齢期の推移

第 1 章で記載した誘引バンドを用いて，フジコナカイガラムシの齢期の推移を調べた。2006 年は各ほ場 3 樹，2007 年は各ほ場 5 樹を調査樹とし，各樹 5 本ずつ誘引バンドを設置して約 10 日毎に新しいものと交換した。回収したバンドは実体顕微鏡下で観察し，バンド内に誘引されたフジコナカイガラムシを若齢幼虫，老齢幼虫・成虫，卵塊に分けて計数し，バンド当たり誘引虫数を算出した。

結果および考察

結果を Fig. 14 に示した。2006 年の筑紫野市では，フェロモントラップにおけるフジコナカイガラムシ越冬世代雄成虫誘殺盛期は 5 月 12 日であった。それを基に有効積算温度法により予測した第一世代ふ化幼虫発生盛期は 6 月 12 日であった。一方，誘引バンド内の若齢幼虫は 6 月 19 日から確認され，6 月 28 日に最も多かった。バンド内の若齢幼虫は 1 齢幼虫の後半から 2 齢幼虫が主体であるため，実際のふ化幼虫発生盛期は 6 月 28 日より早いと考えられる。澤村・奈良井（2008）によると 1 齢幼虫の発育零点は 13.3℃，有効積算温度は 122 日度であり，福岡県の 6 月であれば 2 週間程度である。つまり，実際のふ化幼虫発生盛期は 6 月 14 日頃で，フェロモントラップによる予測日 6 月 12 日に非常に近い。調査間隔が 5 日前後であることを考慮すれば，フェロモントラップにおける雄成虫誘殺盛期を用いた次世代ふ化幼虫発生盛期予測法の精度は高いと考えられる（Fig.14 a)。

2006 年の朝倉市では，フェロモントラップにおけるフジコナカイガラムシ越冬世代雄成虫誘殺盛期は 5 月 22 日で，それを基にした第一世代ふ化幼虫発生盛期は 6 月 19 日と予測された。一方，誘引バンド内では 6 月 19 日から 7 月 7 日まで若齢幼虫が確認されたが，その数が少なかったため盛期は判然としなかった。したがって，フェロモントラップによる予測の精度は判然としなかった（Fig.14 b)。

2007 年の筑紫野市では，フェロモントラップにおけるフジコナカイガラムシ越冬世代雄成虫誘殺盛期は 5 月 1 日，11 日，28 日の 3 回認められた。最も誘殺数が多かった 5 月 11 日を起点として予測した第一世代ふ化幼虫発生盛期は 6 月 11 日であった。誘引バンド内の若齢幼虫は 6 月 7 日から確認され，6 月 28 日が盛期となった。2006 年と同様にバンド内の若齢幼虫は 1 齢幼虫の後半から 2 齢幼虫が主体であることを考慮すると，実際のふ化幼虫発生盛期は 6 月 14 日頃であり，フェロモントラップによる予測法の精度は高いと考えられる（Fig.14 c)。

2007 年の朝倉市では，フェロモントラップにおけるフジコナカイガラムシ越冬世代雄成虫誘殺盛期は 4 月 27 日と 5 月 16 日の 2 回認められた。最も誘殺数が多かった 5 月 16 日を起点として予測した第一世代ふ化幼虫発生盛期は 6 月 14 日であった。誘引バンド内の若齢幼虫は 6 月 7 日から確認され，6 月 18 日が盛期となった。バンド内の若齢幼虫は 1 齢幼虫の後半から 2 齢幼虫が主体であることを考慮すると，実際のふ化幼虫発生盛期は 6

月 2 日頃となる。これは，フェロモントラップからの予測時期より 12 日早い。一方，フェロモントラップにおけるもう一つの越冬世代雄成虫誘殺盛期である 4 月 27 日を起点に予測すると, ふ化幼虫発生時期は 6 月 2 日となり, 誘引バンドの結果と一致した (Fig.14 d)。

2007 年は, 筑紫野市と朝倉市に設置したフェロモントラップでそれぞれ複数回のフジコナカイガラムシ雄成虫誘殺盛期が確認された。筑紫野市では 5 月 1 日，11 日，28 日の 3 回のうち最も誘殺雄数が多かった真ん中の盛期, 朝倉市では 4 月 27 日と 5 月 16 日の 2 回のうち誘殺雄数は少ないものの早い方の盛期を起点としたとき, 予測精度が最も高かった。フェロモントラップにおける誘殺盛期が複数ある場合, どこを起点として用いるべきかは, 今後データを蓄積し，検証する必要がある。

フジコナカイガラムシの性フェロモントラップにおける越冬世代雄成虫誘殺盛期を基点とし，有効積算温度法により予測した第一世代ふ化幼虫発生盛期は，福岡県内カキ園 2 か所 2 年のべ 4 地点のうち，発生が少なかった 1 地点を除く 3 地点において高い精度で実際と一致した。この予測法に基づいた適期防除により，重要な防除時期である第 1 世代幼虫発生時期に対する防除効果が向上することが期待される。なお，フジコナカイガラムシの発生予察用のフェロモン剤は既に市販されており，だれでも使用することができる。

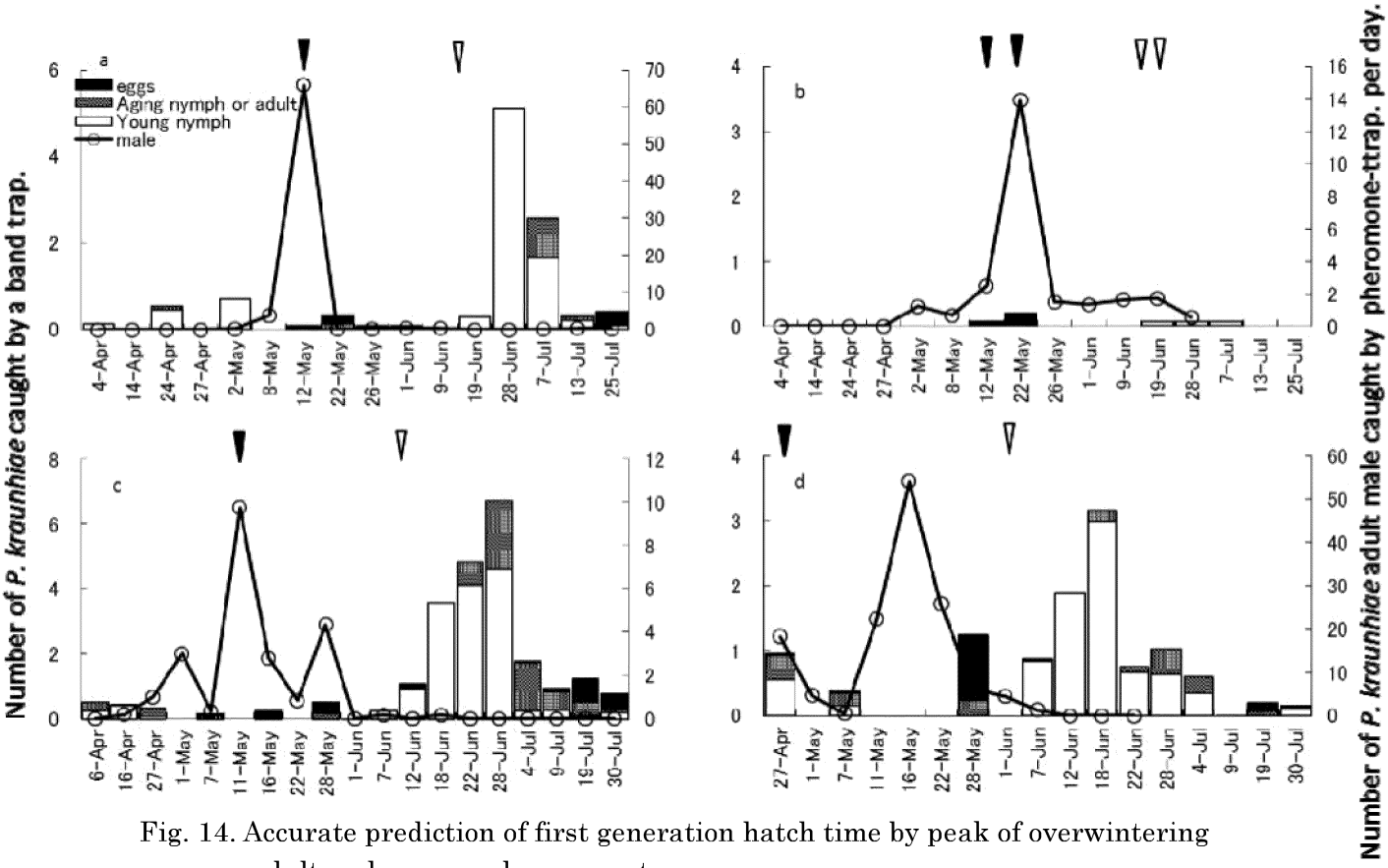

Fig. 14. Accurate prediction of first generation hatch time by peak of overwintering adult male on sex pheromone-trap.

a: Chikushino-city, 2006 b: Asakura-city, 2006 c: Chikushino-city, 2007 d: Asakura-city, 2007. Bar chart shows number of *Planococcus kraunhiae* caught by a band-trap. Line chart shows number of adult male of *P. kraunhiae* caught by pheromone-trap per day. Black triangles show peak of overwintering male caught by pheromone-trap, and white triangles show predicted first generation hatch peak calculated by effective accumulative temperature with male peak of pheromone trap, developmental velocity and temperature average (AMEDAS normal value)

第２節　交信撹乱

性フェロモンを利用した交信撹乱法は，マイマイガ *Lymantria dispar* (Linnaeus) やコドリンガ *Cydia pomonella* (L.)，ナシヒメシンクイ等の害虫で実用化に至っているが（福本・望月，2007)，コナカイガラムシ類の試験事例は少ない (Walton et al., 2006)。そこで，性フェロモン成分を使ったフジコナカイガラムシに対する交信撹乱効果を検討した。

材料および方法

交信撹乱剤

前述のゴムセプタムにフジコナカイガラムシの性フェロモン主成分 2-イソプロピリデン-5-メチル-4-ヘキセン-1-イルブチレート（富士フレーバー株式会社製）を 3mg 含浸させたものを 10 個ずつ針金で結束して交信撹乱剤とした。

Fig. 15. Mating disruption lure.
Gray rubber septa contain synthetic *Planococcus kraunhiae* sex pheromone.

Table 6　Condition of mating disruption test of *Planococcus kraunhiae*.

Test no.	Orchard	Year	MD treated term	Area (a)	Number of treated point	Number of insecticide (P / C)*	Density research day ** O.W./ 1st/ 2nd/ 3rd generation
I	A	2008	18 Apr. – 1 Jul.	5	167	0 / 3	24 Apr./ 20 Jun./ 26 Aug./ 24 Sep.
II	B	2009	16 Apr. – Dec.	4	135	5 / 10	16 Apr./ 29 Jun./ 19 Aug./ 2 Oct.
III	A	2010	15 Apr. – Dec.	4	135	2 / 6	15 Apr./ 30 Jun./ 25 Aug./ 13 Oct.
IV	C	2010	15 Apr. – Dec.	4	135	3 / 11	15 Apr./ 30 Jun./ 25 Aug./ 13 Oct.

*: Number show treated insecticide combat *P. kraunhiae* from April to October in pheromone treated area (P) or Control area (C). Fewer insecticides were used from April to July in pheromone treated area than control area.
**: O. W. is overwintering generation. 3rd generation density of *P. kraunhiae* and injured fruit rate were exained at a time.

2008 年から 2010 年に，福岡県うきは市のカキ園 において交信撹乱の試験を 4 回（試験Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ，Ⅳ）行った（Table 6)。ほ場の一部 4～5a に，フェロモン量が約 1g／a となるようにカキ樹の高さ約 1.5 m の位置に交信撹乱剤（Fig. 15）を設置してフェロモン区とし，残りの区域を慣行区とした。なお，慣行区は慣行防除を行い，フェロモン区では栽培期間を通してフジコナカイガラムシに登録のある殺虫剤の使用を 3～8 回減らした。いずれの試験も交信撹乱剤は越冬世代雄成虫発生前の 4 月中旬に設置し，試験Ⅰは第 1 世代雄成虫発生前の 7 月 1 日に，試験Ⅱ，Ⅲ，Ⅳは果実収穫後の 12 月末に回収した。

モニタートラップにおける雄成虫誘殺数

調査には，表面をビニルフィルムで覆った白色厚紙（10 cm×20 cm）に前述の害虫捕捉用スプレー式透明粘着剤を吹き付けて作製した粘着板と，フジコナカイガラムシ性フェロモン（農業環境技術研究所製または富士フレーバー株式会社製）0.1 mg を含浸させたゴムセプタム（以下，誘引源）1 個を組み合わせたモニタートラップ（Fig. 13）を用いた。フェロモン区の中央および慣行区の内フェロモン区から最も離れたカキ樹の高さ約 1.5 m の主枝にモニタートラップを設置した。試験Ⅰは 4 月 4 日から 7 月 1 日まで，試験Ⅱ，Ⅲ，Ⅳは交信撹乱剤設置日から 10 月下旬まで約 10 日間隔で粘着板を交換し，誘殺された雄成虫数を調べた。なお，誘引源は約 1 ヶ月毎に新しいものと交換した。

産卵雌率

交信撹乱による交尾阻害効果を調べるため，越冬世代成虫の産卵時期（試験Ⅰは 6 月 5 日，試験Ⅱは 5 月 29 日）にフェロモン区および慣行区のカキ樹に寄生しているフジコナカイガラムシ雌成虫それぞれ約 50 頭を観察して産卵の有無を調べ，産卵雌率を算出した。なお，試験ⅢおよびⅣは，越冬世代雌成虫の密度が低く十分な個体数が確保できなかったため，調査は行わなかった。

フジコナカイガラムシ密度

フェロモン区および慣行区からそれぞれ 5 樹を選んで調査樹とした。越冬世代幼虫発生時期（4 月下旬）に各樹約 100 新梢，第 1 世代幼虫発生時期（6 月下旬），第 2 世代幼虫発生時期（8 月下旬），および収穫期（9 月下旬から 10 月下旬）に各樹約 100 果の寄生虫数を調べ，新梢または果実当たり寄生虫数を算出した。

収穫果の被害

収穫期（9 月下旬から 10 月下旬)に，フェロモン区および慣行区の各調査樹それぞれ 100 果程度についてフジコナカイガラムシの被害であるすす病，火ぶくれ症の有無を調べ，被害果率を算出した。

結果および考察

福岡県内のカキ園 4～5a において交信撹乱の試験を 4 回（試験Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ，Ⅳ）行った。いずれの試験においても，慣行区に設置したモニタートラップにおいて雄成虫の誘殺が確認されたことから，試験期間中に試験ほ場内にフジコナカイガラムシのオス成虫が発生していたと考えられる。一方，交信撹乱剤設置期間中，フェロモン区に設置したモニタートラップには雄成虫はほとんど誘殺されなかったことから，フェロモン区では交信撹乱剤による定位阻害効果が認められた（Fig. 16）。

越冬世代雌成虫の産卵時期における雌成虫の産卵率は，試験Ⅰでは慣行区 51.0%に対してフェロモン区 1.4%，試験Ⅱでは慣行区 57.1%に対してフェロモン区 5.6%といずれもフェロモン区で有意に少なかったことから(G-test P<0.001)，交信撹乱剤による交尾阻害効果が認められた（Table 7）。

新梢および果実上のフジコナカイガラムシ密度を Fig. 17 に示した。交信撹乱剤設置時の越冬世代幼虫密度は，いずれの試験においてもフェロモン区と慣行区で同等であった。その後，慣行区では第二世代まで世代の経過に伴いフジコナカイガラムシの密度は増加した。一方，フェロモン区では，世代が経過してもフジコナカイガラムシの密度は横ばいもしくは減少し，試験Ⅰ，Ⅲでは第一世代で，試験Ⅱ，Ⅳでは第二世代で慣行防除を行った慣行区に比べて有意な密度抑制効果が認められた（t-test, P<0.1，または 0.5)。この間，フェロモン区ではフジコナカイガラムシに効果のある薬剤を慣行区に比べて 3～8 回削減していることから，交信撹乱法は，フジコナカイガラムシに対して慣行の薬剤防除を上回る密度抑制効果が認められた。なお，第一世代幼虫発生時期に交信撹乱剤を撤去した試験Ⅰにおいて，第二世代以降もフェロモン区のフジコナカイガラムシ密度が慣行区に比べて低く推移しているが，これは，交信撹乱で第一世代を低く抑えたことにより，次世代以降の増殖が抑えられたためと推察された。

フェロモン区における収穫期の被害果率は，いずれの試験においても慣行区より有意に低く，交信撹乱による被害抑制効果が認められた（student の t 検定，P<0.05，Table 8)。

4～5a の現地カキ園において，交信撹乱剤のフジコナカイガラムシに対する定位阻害効果，交尾阻害効果，薬剤防除を上回る密度抑制効果および被害抑制効果が認められた。野外ほ場における密度抑制に成功したのはコナカイガラムシ類では Walton et al., 2006 に次いで 2 例目である。交信撹乱はチョウ目害虫などで実用化されているが（福本・望月, 2007)，雌成虫の移動能力が高い場合は既交尾雌が飛び込んで産卵するのを防ぐため雌成虫の行動範囲を超えてできるだけ広く設置する必要がある（若村，1993)。例えば，コナガ *Plutella xylostella* (Linnaeus) (Lepidoptera: Plutellidae) では最低 3ha 程度が必要であると考えられる（大林ら，1989)。しかし，無翅である本種雌成虫はチョウ目昆虫に比べて移動能力が著しく低いため, 4a という比較的小面積でも交信撹乱による密度抑制効果が認められたと考えられた。我が国の果樹産地は所有者が異なる小面積園の集合で構成されること

が多い。小面積でも有効であれば個々の果樹園単位で効果が期待でき，導入に際して広範囲の果樹園の園主間で意思統一を図る必要が無いため実用化する上で有利である。交信撹乱法が導入されれば，フジコナカイガラムシの被害を抑えられるうえ，本種に対する薬剤散布回数も削減できる。これは消費者の要望や環境保全の観点から減農薬栽培を望む近年の社会情勢に合致している。また，生産者にとっても作業の省力化に加え，フジコナカイガラムシの殺虫剤に対する抵抗性獲得回避の観点から有益な技術である。実際，コナカイガラムシ類の 1 種でナシを加害するクワコナカイガラムシにおいて,約 10 年間で明らかに殺虫剤に対する感受性が低下したという報告があり（伊澤， 1990），カキのフジコナカイガラムシでも薬剤感受性の低下を示唆する報告がある（森下，2006)。これまで交信撹乱用の本種性フェロモンを簡易かつ安価に合成する技術が無かったため，交信撹乱剤は商品化に至っていない。しかし，最近になってこの物質を簡便に合成する手法が新たに開発された（Tabata, 2013)。現在，実用化に向けて準備が進められている。

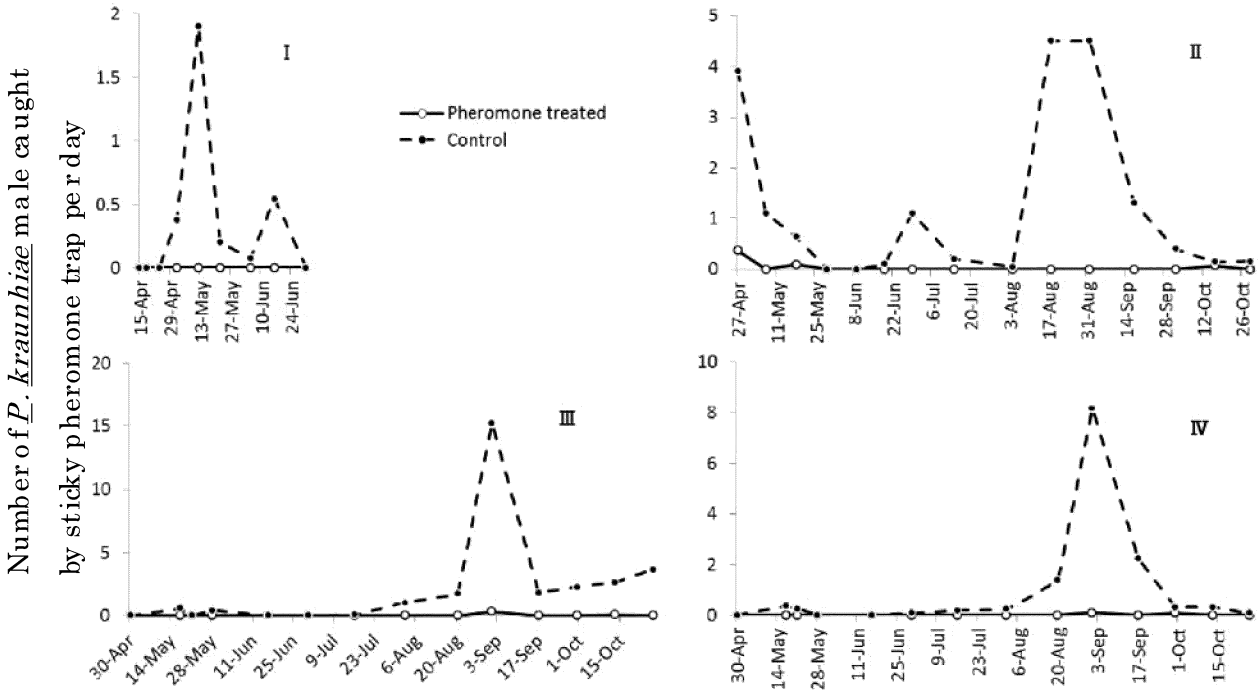

Fig. 16. Effect of mating disruption by synthetic pheromone on male attraction of sex pheromone trap.
Roman figure shows test number.

Table 7. Effect of synthetic pheromone on copulation of *Planococcus kraunhiae* in Japanese persimmon orchard.

Treatment	Egg-laying rate (%)	
	Test I	Test II
Pheromone-treated	1.4 (69)***	5.6 (54)***
Control	51.0 (51)	57.1 (70)

Values in parentheses indicate the number of observed females. ***shows significant difference according to the G-test 0.1% level between pheromone-treated and control.

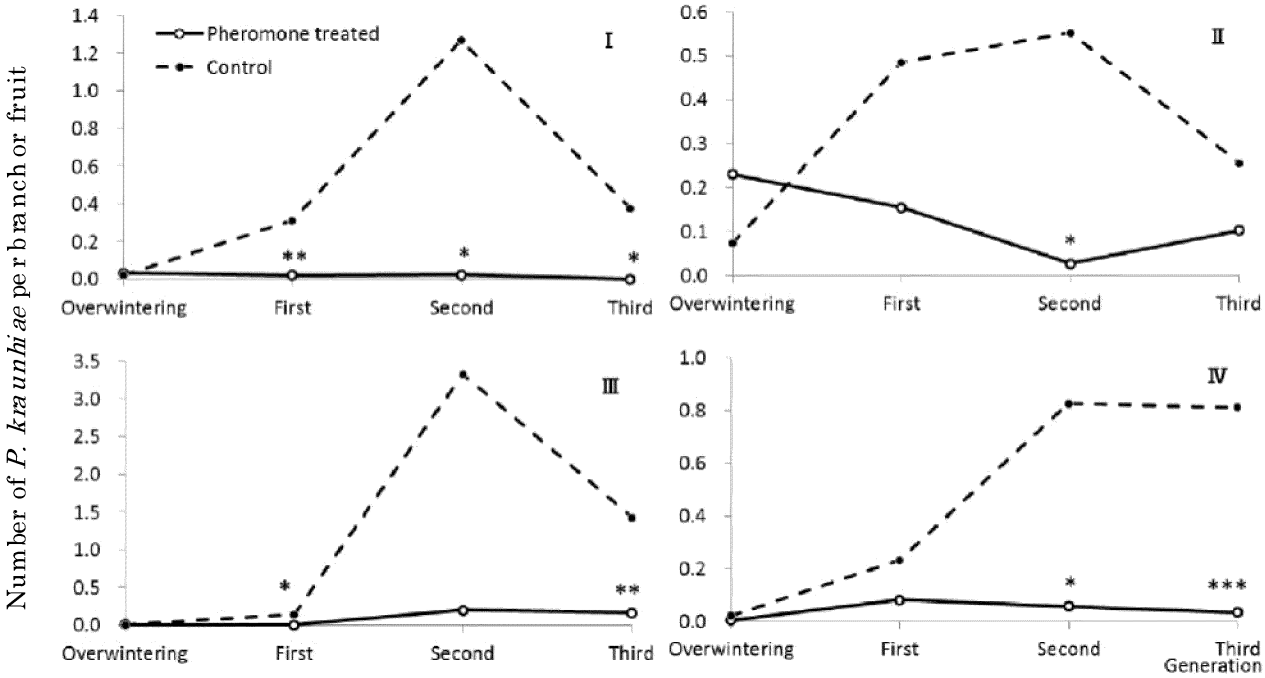

Fig. 17. Effect of mating disruption by synthetic pheromone on population density of *Planococcus kraunhiae* in a persimmon orchard.

Roman figure shows test number. *, ** shows significant difference according to the t-test 5 or 1 % levels respectively between pheromone treated and control.

Table 8. Effect of synthetic pheromone on the infestation rate of *Planococcus kraunhiae*

Treatment	Infested fruit rate (%)			
	Test I	Test II	Test III	Test IV
Pheromone treated	0.25 **	1.39 *	0.88 **	0.89 ***
Control	4.42	12.58	12.18	11.99

Infested fruit contain bruise by sucking or soot by honey dew. *, ** and *** show significant difference according to the t-test 5, 1 and 0.1% levels respectively between pheromone-treated and control.

第３章　天敵の活動を高める技術

福岡県のカキ栽培では土着天敵を保護利用する天敵活用型防除体系（Fig. 6）が普及している。この体系はかつての防除体系に比べると被害抑制効果などの点で優れているが，いまだ多くの園でフジコナカイガラムシの被害を十分に抑えることができず問題となっている。この状況を改善するため，積極的に天敵の活動を高める技術の開発に取り組んだ。

第１節　場内試験

フジコナカイガラムシの性フェロモンを同定する際に，コナカイガラムシ類の寄生蜂であるフジコナヒゲナガトビコバチおよび，スギヒメコナカイガラムシに寄生するサワダトビコバチ *Anagyrus sawadai* Ishii (Hymenoptera: Encyrtidae)を誘引する物質を発見した。分析の結果，この物質は 2,4,4-トリメチル-2-シクロヘキセニルメチルブチレート（シクロラバンデュリルブチレート, 以下, CLB）であることが分かった (Tabata et al., 2011)。そこで，CLB で誘引された寄生蜂の，フジコナカイガラムシに対する寄生について調査した。なお，サワダトビコバチはミカンヒメコナカイガラムシの寄生蜂シロツノコナカイガラトビコバチ *Anagyrus subalbipes* Ishii (Hymenoptera: Encyrtidae) と酷似しているため区別がほとんどできず, シノニムの可能性もある（安松・渡辺, 1965; 平嶋・森本, 2008)。

材料および方法

天敵誘引剤

独立行政法人農業環境技術研究所製の CLB0.16mg を含浸させたゴムセプタム 10 個を針金で結束して 1 本としたものを用いた。

供試虫

フジコナカイガラムシは，1999 年に福岡県内カキ園で採集後，試験場内の実験室でカボチャ果実を餌として与えて累代飼育した個体群を用いた。

試験方法

隠れ場所として毛糸（アクリル 100%, 極太）を巻き付けたカボス *Citrus sphaerocarpa* Tanaka, nom. nud. 果実に，フジコナカイガラムシ 3 齢幼虫または成虫約 30 頭を接種してカボストラップを作成した。福岡県農林業総合試験場内のカキ 6 樹（品種「伊豆」，樹齢約 30 年生，各樹間の距離 10m 以上）を調査樹とし，各樹高さ約 1.2m の枝にカボストラップを針金で固定した（Fig. 18)。供試樹のうち 3 樹にはカボストラップ設置部位に近接する枝に誘引剤 1 本（Test 1）または 10 本（Test 2）を設置して CLB 区とし，残りの 3 樹を無処理区とした。2 日後にカボストラップを回収するとともに CLB 区の誘引剤も回収した。

これを 1 回の試験とし，誘引剤の有無，すなわち CLB 区と無処理区の場所を入れ替えながら 3 回試験を実施した（Test 1 : 2010 年 8 月 25 日，9 月 8 日，10 月 26 日設置，Test 2 : 2010 年 9 月 22 日，9 月 30 日，10 月 12 日設置）。なお，前試験の誘引剤の影響を無くすため，次の試験は 1 週間以上あけて実施した。回収したカボストラップはプラスチック容器（直径 8cm，高さ 6cm，天井部を開口してゴースで塞ぎ通気口とした）に入れて 25℃，自然日長で約 1 か月間飼育し，羽化した天敵類の数とマミー数を調べた。

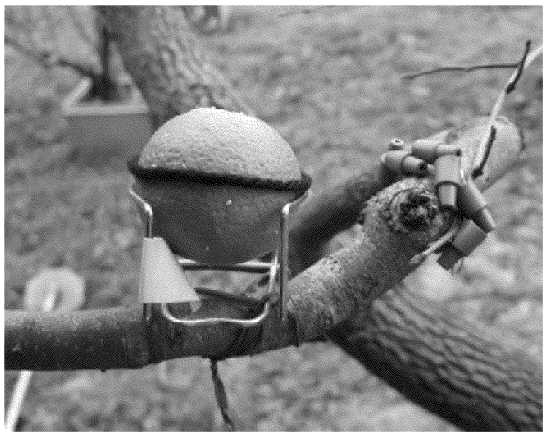

Fig. 18. Observation for impact estimation of CLB on natural enemies parasitis

Thirty females of *Planococcus kraunhiae* were placed on a Kabosu fruit, and gray septa are containing CLB.

結果および考察

Test 1，Test 2 とも，各区それぞれ計 9 個のカボストラップを設置した。2 日間の試験終了時に寄生しているフジコナカイガラムシ数が 0 または 1 頭と少なかった 3 個を除くと，供試したフジコナカイガラムシはカボストラップ 1 個当たり 23 から 38 頭で，うち 5 から 33 頭を回収した。

Test 1 では，無処理区から回収した 8 個のカボストラップ上のフジコナカイガラムシ計 133 頭のうち寄生蜂に寄生されたものは無かったが，CLB 区から回収した 7 個のカボストラップ上のフジコナカイガラムシ計 105 頭のうち 19 頭（18.1%）が寄生蜂類に寄生されていた。CLB 区のフジコナカイガラムシから羽化した寄生蜂 19 頭は全てサワダトビコバチとフジコナヒゲナガトビコバチであった。

CLB 量を 10 倍に増やした Test 2 において，無処理区から回収した 9 個のカボストラップ上のフジコナカイガラムシ計 175 頭のうち蜂に寄生されたのは 11 頭（6.3%）にとどまったが，CLB 区から回収した 9 個のカボストラップ上のフジコナカイガラムシ計 149 頭のうち，蜂に寄生されていたのは 60 頭（40.3%）に達した。無処理区から羽化した寄生蜂 8 頭にサワダトビコバチとフジコナヒゲナガトビコバチは含まれていなかったが，CLB 区では羽化した寄生蜂 50 頭のうち 8 頭がサワダトビコバチ，34 頭がフジコナヒゲナガト

ビコバチであった。

Test 1，Test 2 ともに CLB 区に放飼したフジコナカイガラムシは無処理区に比べて天敵による寄生率が高かった（Fig. 19．GLMMs, P<0.005)。さらに，このフジコナカイガラムシからフジコナヒゲナガトビコバチとサワダトビコバチが羽化し，両種による寄生が確認された（Table 9)。この 2 種のうち前者はフジコナカイガラムシの寄生蜂であるが，通常，フジコナカイガラムシに対する寄生はフジコナカイガラクロバチやフジコナカイガラトビコバチに比べて少ない（Table 1)。今回の試験でも，対照区からは 1 頭も羽化していない（Table 9)。後者はミカンヒメコナカイガラムシの寄生蜂として記載され，フジコナカイガラムシの天敵としては記載されていない種であり（安松・渡辺，1965)，福岡県内の天敵相調査でも採集されていない（Table 1)。このように，野外試験においてにおい物質に誘引された寄生蜂が本来の寄主ではない種に寄生した事例はこれまで報告されていない。

今回の試験結果は, CLB が本来のフジコナカイガラムシの寄生蜂フジコナヒゲナガトビコバチによる寄生率を向上させ，さらに，サワダトビコバチに対しては本来の寄主ではない種に対する寄生を引き起こしたことを示している。つまり，CLB の利用により，フジコナカイガラクロバチやフジコナカイガラトビコバチなどの優占種に加え，さらに 2 種の寄生蜂をフジコナカイガラムシ防除に活用できる可能性を示唆している。CLB は，夾雑物としてフジコナカイガラムシの合成性フェロモン剤から発見されたが，天然物がどこに存在するかは不明である。誘引されたサワダトビコバチがフジコナカイガラムシの天敵ではないことから，フジコナカイガラムシ以外のコナカイガラムシ類のフェロモン中に含まれている可能性がある。また, 植物が食植者に加害された場合に放出するにおい成分の中には，その植食者の天敵を呼び寄せるものがある。例えば，ハダニに食害されたリママメ葉は捕食性ダニのチリカブリダニ *Phytoseiulus persimilis* (Acarina: Phytoseiidae) を誘引し (Sabelis et al., 1984)，シロイチモジヨトウ *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) に食害されたトウモロコシ株はヤガ科幼虫の内部寄生蜂 *Cotesia marginiventris* (Cresson) (Hymenoptera: Braconidae) を誘引し (Turlings et al, 1990)，ハムシ *Xanthogaleruca luteola* (Muller) (Coleoptera: Chrysomelidae) に産卵されたエルムの葉はハムシの卵寄生蜂 *Oomyzus gallerucae* (Fonscolombe) (Hymenoptera: Eulophidae) を誘引する (Meiners and Hiker, 1997)。このように植物が放出するにおい物質が CLB である可能性もある。 CLB の天然物の存在を明らかにすることにより, CLB をさらに効果的に使えるようになる可能性がある。

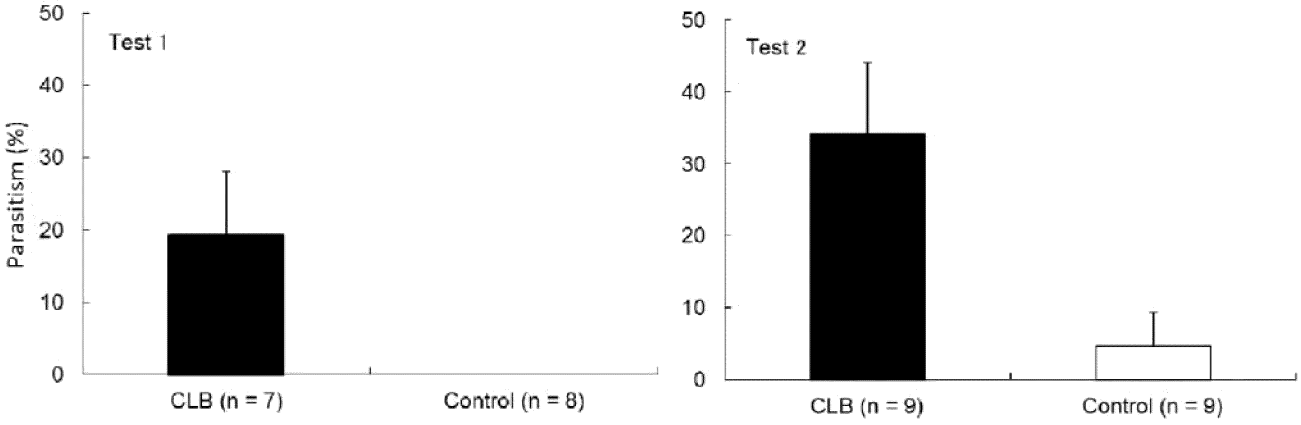

Fig. 19. Parasitism rate with CLB or without CLB (control).

Parasitism rate = number of mealybugs parasitized / number of mealybugs collected × 100. Ten (test 1) and 100 (test 2) rubber septa per tree were impregnated with 0.160 mg of CLB and used as attractants. A significant difference was observed between the treatments in both tests (GLMMs: $P<0.005$)

Table 9. Effect of CLB on abundance of parasitic wasps.

		Number of emerged wasps		
Applied	Test No.	*Anagyrus sawadai*	*Leptomastix dactylopii*	Others
CLB	1	8	11	0
	2	8	34	8
Control	1	0	0	0
	2	0	0	8

10 (Test 1) or 100 (Test 2) rubber septa impregnated with 0.160 mg of CLB used as attractants or in absence of CLB (Control). Number of emerged wasps was total of 3 repetiton. Test 1 were conducted 25-27 Aug., 8-10 Sep. and 26-28 Oct., and Test 2 were conducted 22-24 Sep., 30 Sep.-2 Oct. and 12-14 Oct.

第２節　現地試験

CLB の設置により，フジコナヒゲナガトビコバチとサワダトビコバチの 2 種の寄生蜂によるフジコナカイガラムシの被寄生率が向上することが，場内カキ園で確認された。現地カキ園においても，CLB を設置することにより 2 種の寄生蜂が誘引され，フジコナカイガラムシの密度が抑制される可能性がある。そこで，現地カキ園に CLB を設置し，フジコナカイガラムシに対する密度抑制効果を調べた。

材料および方法

天敵誘引剤

試験は 2012 年から 3 年間実施し，それぞれ異なる誘引剤を用いた。すなわち，2012 年

は独立行政法人農業環境技術研究所製の，2013 年は信越化学工業株式会社製の CLB0.16mg を含浸させたゴムセプタム 10 個を針金で結束して 1 本としたものを用いた。ゴムセプタムからの CLB 放出期間は約 1 ヶ月と推定されたため，2013 年は効果をより長く持続させる目的で最初の設置から 1 か月後に再設置した。2014 年は，信越化学工業株式会社製の CLB4.86mg をチューブに封入したものを用い，放出期間を 3 か月以上確保した（Table 10，Fig. 20)。

方法

試験①，②，③はほ場 A においてそれぞれ 2012 年，2013 年，2014 年に，試験④はほ場 B で 2014 年に実施した。いずれも福岡県のカキ栽培地帯である朝倉市のカキ園で，周囲はスギ *Cryptomeria japonica* (Thunb. ex L.f.) D. Don やヒノキ *Chamaecyparis obtuse* Sieb. & Zucc. (Pinales: Cupressaceae) に囲まれており，比較的フジコナカイガラムシが多発しているほ場であった。栽培品種は，ほ場 A では 11 月収穫の〝富有〟，ほ場 B では 10 月上旬収穫の〝伊豆〟であった。試験ほ場の一画 5 樹に天敵誘引剤を樹あたり 10 本，樹冠内に偏りなく設置して CLB 区とした。なお，供試樹の樹冠占有面積は 45 から 130 ㎡であった。天敵誘引剤は，フジコナカイガラムシ第一世代成虫発生時期であり，予備試験の結果 2 種の寄生蜂が発生し始める 7 月上旬に設置し，収穫終了後の翌年 1 月に回収した。供試樹から最も離れた同一ほ場内の 3～4 樹を対照区とし，CLB 区も対照区も同じ防除を行った。なお，ほ場 A は 2012 年から 2014 年まで 3 年間連続して試験を行ったが，CLB 区と慣行区の配置は毎年入れ替えた。

寄生蜂の発生消長

SE トラップとクワシロカイガラムシ用粘着板，CLB0.16mg を含浸させたゴムセプタム 1 個を組み合わせた CLB トラップを地上約 1.5m の高さに設置した（Fig. 21)。約 2 週間ごとに粘着版を交換し，回収した粘着板に誘引されたサワダトビコバチおよびフジコナヒゲナガトビコバチを計数した。調査は CLB 設置時から果実収穫時期までとし，ゴムセプタムは毎月新しいものと交換した。

フジコナカイガラムシ密度

2014 年は 3 樹，それ以外の年は 4 樹を各区の調査樹とし，誘引剤設置直前（7 月上旬)，次世代発生時期（8 月下旬から 9 月上旬）および収穫直前（9 月下旬および 10 月下旬）の 3 回，樹あたり 100 果について，果実上のフジコナカイガラムシ数を調べた。

フジコナカイガラムシに寄生した蜂の種類

2014 年，CLB 区の調査樹以外の 2 樹および対照区の調査樹に隣接する 2 樹について，

フジコナカイガラムシが寄生している果実を各区 15 果ずつ選び，果実上のフジコナカイガラムシおよびマミーを採集し，プラスチックシャーレ（直径 3.5cm，高さ 1cm）に収容した。25℃で保管し，約 2 か月後に羽化した天敵類を種別に計数した。採集は，7 月 9 日から 8 月 27 日まで約 10 日間隔で 5 回行った。

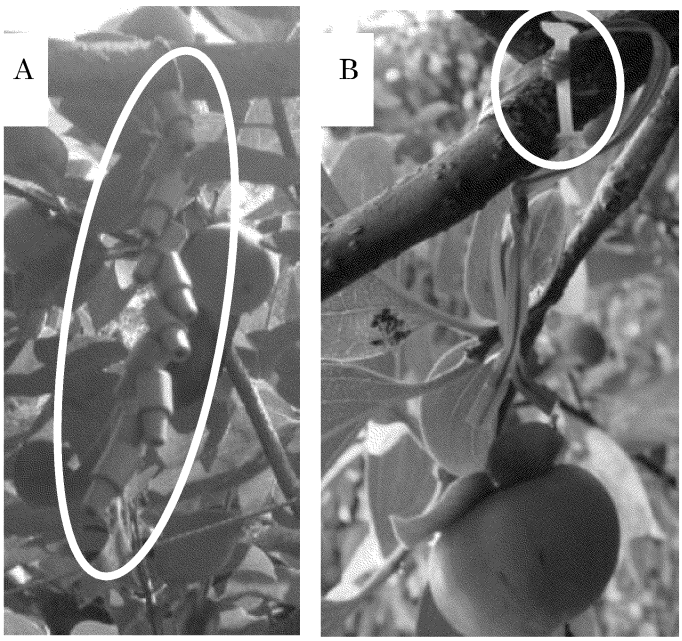

Fig. 20. CLB holder for field test.
A: a grey septa used for test ① and ②. B: a tube used for test ③ and ④.

Fig. 21 CLB-trap
CLB-trap was made up of combination SE-trap, sticky board for white peach scale, and grey septum containing 0.16mg CLB. This trap was hung in the test field 1.2m above the ground.

Table 10　Condition of CLB test

Test No.	Year	Orchard	Treat day	CLB amount (mg/tree)	Holder	Crown cover area (㎡)	Distance from CLB to control (m)
①	2012	A	10 Jul.	16	septum	130	55
②	2013	A	5 Jul. /5 Aug.	16*2	septum	80	55
③	2014	A	2 Jul.	48.6	tube	130	55
④	2014	B	2 Jul.	48.6	tube	45	70

結果および考察

3 年間のべ 4 ほ場の福岡県内カキ園において，天敵誘引剤 CLB によるフジコナカイガラムシに対する防除試験を行った。いずれの試験においても CLB トラップにほぼ毎回，特に 7 月から 8 月に多くサワダトビコバチが誘殺された (Fig. 22)。一方，フジコナカイガラムシの天敵で，場内試験において CLB 区に放飼したフジコナカイガラムシから次世代が羽化したフジコナヒゲナガトビコバチは，4 回の現地試験で設置した CLB トラップには 1 頭も誘殺されなかった。この原因は不明であるが，現地ほ場ではフジコナヒゲナガトビコバチの発生が少ない可能性がある。

試験はフジコナカイガラムシの第一世代成虫発生時期に開始した。試験① と試験③ における CLB 区のフジコナカイガラムシ密度は，試験開始時はいずれも対照区に比べて有意に高かったが，次世代発生時期である 8 月下旬には対照区と同等まで低下した。試験② と試験④ における CLB 区のフジコナカイガラムシ密度は，試験開始時は対照区で同等であった。いずれの試験でも対照区では次世代発生時期に密度が増加したが CLB 区では減少し，対照区に比べて有意に低くなった (student の t 検定，$P<0.05$，Fig. 23)。

天敵誘引剤 CLB の設置が，フジコナカイガラムシに寄生する蜂の種類に及ぼす影響を調べるため，試験③ および④ について，試験開始後の 7 月 9 日から 8 月 27 日の 5 回にわたって計 75 果から寄主であるフジコナカイガラムシおよびマミーを採集した。試験③ では，CLB 区で採集した寄主 145 頭から 25 頭の寄生蜂が羽化し，そのうち 7 頭がサワダトビコバチであった。一方，対照区から採集した 154 頭の寄主から寄生蜂 15 頭が羽化したが，サワダトビコバチは 1 頭も含まれなかった。試験④ も同様に，CLB 区では採集した寄主 140 頭から羽化した寄生蜂 11 頭のうち 4 頭がサワダトビコバチであったが，対照区では 242 頭の寄主から羽化した 34 頭の寄生蜂にサワダトビコバチは含まれなかった(Table 11)。つまり，CLB 区から採集した寄主からのみサワダトビコバチが羽化し，かつ，CLB 区では対照区に比べてフジコナカイガラムシ密度が減少したことから，CLB に誘引されたサワダトビコバチによるフジコナカイガラムシの密度抑制効果が示された。

一方で，採集した寄主に占めるサワダトビコバチ羽化割合は試験③ 4.8%，試験④ 2.9%

とそれほど高くなかったが，フジコナカイガラムシに対する密度抑制効果をサワダトビコバチの羽化数のみで評価することは，以下の 2 つの理由により過小評価になる可能性がある。一つ目は，フジコナカイガラムシがサワダトビコバチの本来の寄主ではないため，本来の寄主に寄生した場合に比べて羽化率が低い可能性である。CLB のフジコナカイガラムシに対する密度抑制効果をより正しく評価するためには，本来の寄主ではないフジコナカイガラムシに産下された場合と本来の寄主であるミカンヒメコナカイガラムシ等に産下された場合のサワダトビコバチの羽化率を比較したり，サワダトビコバチの産卵行動自体がフジコナカイガラムシの生存率に及ぼす影響を調査したりする必要がある。二つ目は，羽化数ではサワダトビコバチの寄主体液摂取を考慮できない点である。寄主体液摂取はハチの蔵卵能を高める（Jervis and Kidd, 1986)。サワダトビコバチと同属の *Anagyrus mangicola* (Bokonon-Ganta et. al., 1995) やフジコナカイガラトビコバチ（井上，2003) の雌は羽化後に寄主の体液など栄養を接種しながら未成熟卵を成熟させる遂次成熟性である。キャッサバ *Manihot esculenta* を加害するカイガラムシ *Phenacoccus herreni* Cox & Williams の捕食寄生蜂であるトビコバチの 1 種 *Epidinocarsis diversicornis* のように寄主体液摂取が寄主の死亡要因として重要となる場合がある（Van Driesche et al., 1987)。したがって，本種の場合も寄主体液摂取がフジコナカイガラムシの密度抑制に影響を及ぼしている可能性があるため，今後，その影響を明らかにする必要がある。なお，試験③ の CLB 区からのみフジコナヒゲナガトビコバチ が羽化したが，調査期間を通して 1 頭のみであったことや，試験期間を通して CLB トラップにおける誘殺がなかったことから，フジコナヒゲナガトビコバチに対する CLB の影響は判然としなかった。

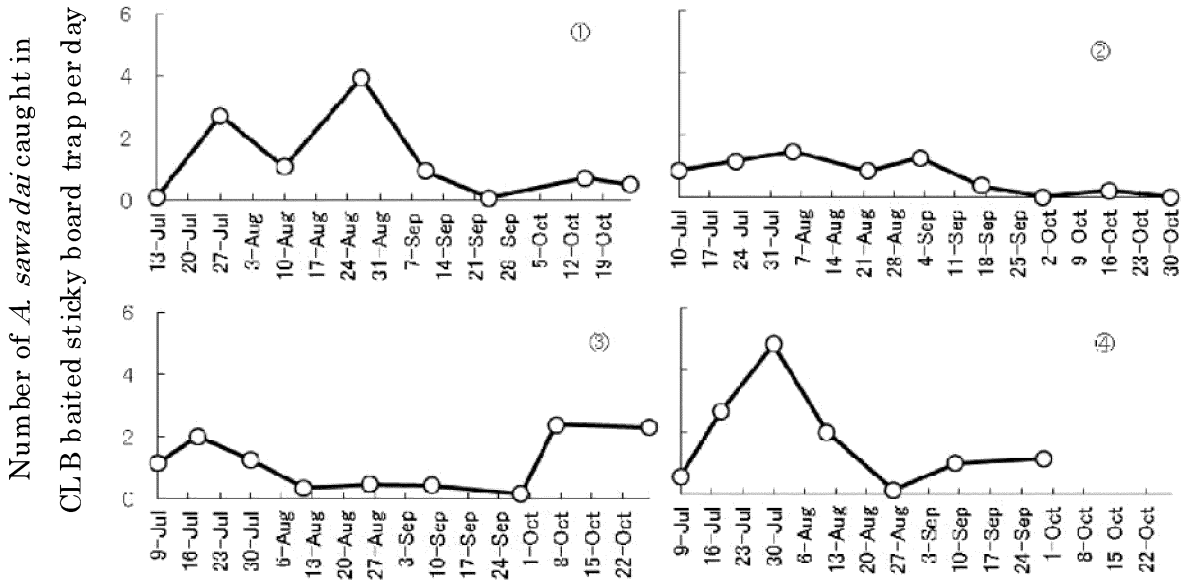

Fig.22. Occurrence of *Anagyrus sawadai* in Japanese persimmon orchard.
Number-in-a-circle shows the test number.

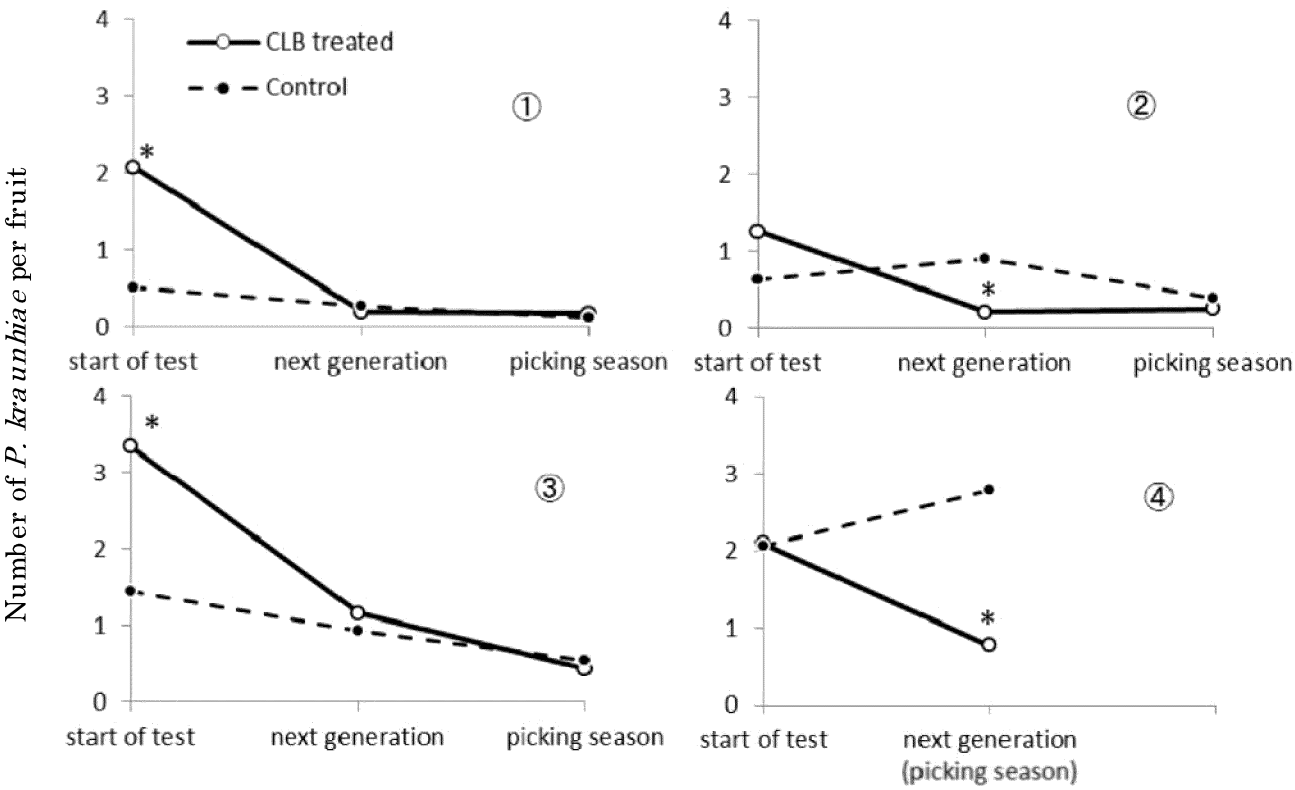

Fig. 23. Effect of CLB on *Planococcus kraunhiae* density in Japanese persimmon orchards.

Number-in-a-circle shows the test number. * shows significant difference according to the t-test 5 % level between CLB and control.

Table 11 Natural enemies species activated by CLB

Test No.	Treatment	Number of fruits	Number of hosts	Number of emerged wasps		
				Anagyrus sawadai	*Leptomastix dactylopii*	Others
③	CLB	75	145	7	1	17
	Control	75	154	0	0	15
④	CLB	75	140	4	0	7
	Control	75	242	0	0	34

Numbers of hosts are total amount of *Planococcus kraunhiae* caught 5 times from 9 Jul. to 27 Aug 2014.

総合考察

フジコナカイガラムシは，現在の福岡県のカキ栽培において最も問題となっている虫である。これまで，本種に対する防除は主に薬剤散布によって行われてきた。しかし，生息場所である果実とヘタの隙間や樹皮下などに散布薬剤がかかりにくい，防除適期が限られる等の理由で，薬剤による防除には限界がある。一方，無防除カキ園では本種の発生が少ないことから，カキ園で使用される薬剤が本種の土着天敵類に悪影響を及ぼしている可能性が示唆された。

県内に生息する本種の土着天敵として，寄生蜂 8 種と捕食者 5 種が確認された。最も多く確認されたフジコナカイガラクロバチに対する散布薬剤の影響試験の結果を基に，土着天敵に及ぼす悪影響が少ない剤を中心とした天敵活用型防除体系を確立した。この防除体系は慣行の防除体系に比べてフジコナカイガラムシによる被害抑制効果が高く，薬剤散布回数および経費が削減される。この天敵活用型防除体系では，県内のカキ栽培で問題となる害虫はその重要度に応じて防除されるが，突発的に発生する害虫に対しては追加防除を行う必要がある。特に，果樹カメムシ類は果実に甚大な被害を与えるため防除は必須であるが，本種に対する防除薬剤の多くは，フジコナカイガラクロバチに及ぼす悪影響が大きい。果樹カメムシ類の果樹園飛来時期や飛来量は年によって大きく異なる（宮原・山田，1978; 山田ら，1983)。飛来量が少ない時期に不必要な薬剤を散布することは経費的にも作業的にも無駄であるだけでなく，天敵に悪影響を及ぼしてフジコナカイガラムシのリサージェンスを引き起こす。反対に，多飛来時に防除を行わなければ甚大な被害をこうむることとなる。このため，本種に対する防除の予察による恩恵は計り知れない。

チャバネアオカメムシの発生予察法として，越冬密度調査法（山田ら，1983)，予察灯調査法（山田，1979 ; 山田，1980)，指標植物での個体数調査法（山田・宮原，1980)，ヒノキ球果の口針鞘数調法（堤，2000）等が開発され，果樹園への飛来時期および量の予測は可能となってきた。福岡県では，越冬密度や予察灯への誘殺消長，集合フェロモンを使ったトラップにおける誘殺消長，ヒノキ樹上における個体数，ヒノキ球果の口針鞘数を調べて本種の果樹園飛来量や飛来時期を予測しており，この予測に従って防除の要否を決定することは，果樹カメムシ類の防除のみならず，フジコナカイガラムシ防除の観点からも重要である。

天敵活用型防除体系では，薬剤による防除効果が低い 7 月以降のフジコナカイガラムシに対する防除は土着天敵の活動に依存している。天敵を利用する際，害虫の初期密度を低く抑えることが，防除の成功のカギとなる（矢野, 2003)。したがって，この防除体系の成否は 7 月までにいかにフジコナカイガラムシの密度を抑制できるかにかかっている。そこで，この点を強化するために，二つの技術を開発した。

一つ目は，高濃度殺虫剤の樹幹塗布法である。使用するネオニコチノイド系殺虫剤のジ

ノテフラン水溶剤は,散布では土着天敵のフジコナカイガラクロバチに悪影響を及ぼすが,塗布では有効成分が植物体内を移動するため悪影響を及ぼさず，天敵活用型防除体系に組み入れることが可能である。塗布剤の効果を十分に発揮させるためには，塗布前に樹皮を削る必要があるが,福岡県では越冬害虫の密度を抑制する目的で冬季に粗皮を削っており,樹幹塗布が普及しやすい状況である。

二つ目は，性フェロモン剤を利用した第一世代幼虫発生時期の予測法である。この時期は防除効率の高いふ化幼虫の発生が揃うため最も重要な薬剤防除時期の一つである。これまでは目視により把握していたが，ふ化幼虫は体長 1mm 以下と非常に小さく，また，この時期は密度も比較的低いため多大な労力を必要とした。しかし,今回開発した予測法は,フェロモントラップにおける雄成虫の発生ピークと平均気温により，概ね高い精度で予測できる。さらに，防除適期の約 1 か月前に時期を予測できるため，十分な準備期間を確保できる。

性フェロモンを利用した防除技術として，交信撹乱法にも取り組んだ。薬剤散布による防除は，薬剤のかかりムラが生じると防除効果が低下する。また，降雨などにより作業が遅れると防除適期を逃す可能性がある。一方，今回試験に使用した交信撹乱剤は，越冬世代成虫発生前の 4 月上旬までにほ場に設置しておくと越冬世代に対して有効であり，その効果は収穫期まで持続するため通常の薬剤散布では防除効果が現れにくい 7 月以降も効果が期待できる。現在，農薬登録に向けて実用化試験等が行われている。

ただし，性フェロモンをほ場に充満させる交信撹乱法は，同じく性フェロモンを利用した防除適期の予測とは併用できない。防除経費の削減の観点からも，交信撹乱法を導入する場合は第一世代幼虫発生時期の薬剤防除を控えるべきかもしれない。さらに，フジコナカイガラムシの性フェロモンをカイロモンとして利用していると考えられるフジコナカイガラトビコバチは，フジコナカイガラムシの雄成虫と同様に撹乱されることが予想される(杖田，2014)。本種以外の土着天敵であるフジコナカイガラクロバチやテントウムシ類，タマバエ類などの捕食者に及ぼす性フェロモン剤の影響についても，今後，検証する必要がある。

性フェロモンを用いた交信撹乱法と天敵誘引剤 CLB による寄生蜂の積極的利用を組み合わせることにより，互いの弱点を補うことが可能である。すなわち，交信撹乱では性フェロモンを有効濃度以上に維持する必要があるが，山間部などの傾斜地で用いる場合，空気より比重が重い性フェロモンが低地に流れやすく斜面の上部ではフェロモンが失われて防除効果が得られにくい場合がある（若村，1993; 田付，1996; 佐藤，1992)。しかし，山間部ではほ場周辺に雑木林があることが多く，天敵が多く存在する可能性があるため CLB が有効に活用できると考えられる。一方，水田転換園のような平坦地では周囲に天敵が生息できる環境が少ない場合があるが，傾斜が少ないため交信撹乱法は導入しやすい。また，性フェロモンを用いた交信撹乱では性フェロモンをカイロモンとして利用している

土着天敵の活動を阻害する懸念があるが（Teshiba et al., 2012），CLB はフジコナカイガラムシ由来成分ではないため，交信撹乱法と CLB による寄生蜂の積極的利用は併用も可能であると考えられる。さらに，フジコナカイガラムシ以外のコナカイガラムシに対しても有効である可能性もある。CLB は天然に存在している可能性があり，それが明らかになればより効果的に利用できると考えられる。今後も，コナカイガラムシ類による被害低減や作業の省力化，農家の所得増加につながるよう研究に取り組みたい。

謝　辞

本論文のご校閲を賜った元九州大学農学部教授　高木正見博士に謝意を表する。

また，福岡県農業総合試験場豊前分場長　堤　隆文博士には研究のご指導をいただいた。同試験場病害虫部各位には研究遂行の過程で数々の示唆と協力をいただいた。農業環境技術研究所の杉江　元博士，田端　純博士にはフェロモンおよび天敵誘引物質の研究を行うに当たり，ご指導並びに資材提供，成分分析の労を賜った。三井化学株式会社には樹幹塗布法の開発，富士フレーバー株式会社にはフジコナカイガラムシ発生予察用性フェロモン剤の開発，信越化学工業株式会社には交信撹乱および天敵誘引物質に関する試験に際し，資材の提供並びに多大なご支援をいただいた。皆様に心より感謝申し上げる。

採集した天敵類の同定の労を賜った高木一夫博士，九州大学の湯川淳一博士，九州大学生物資源環境科学府の上野高敏博士，近畿中国四国農業研究センターの安部順一朗博士，山口県農林総合技術センターの東浦祥光博士および兵庫県西宮市在住の塚口茂彦博士，現地試験の実施にあたってご協力いただいた朝倉普及指導センターおよび久留米普及指導センターの果樹担当者各位，農薬メーカー担当者各位，九州大学の石橋佳衣氏，深い愛情を持ってフジコナカイガラムシおよびフジコナカイガラクロバチを飼育して下さった志間美菜子さん，木下澄子さん，平山仁美さん，久保沙織さん，鬼木照美さん，有岡美津子さん，行武美幸さん，吉田由美さんに心からお礼申し上げる。

要　約

フジコナカイガラムシ *Planococcus kraunhiae* は福岡県のカキ栽培で問題となっている重要害虫である。従来，本種の防除は主に薬剤散布によって行われていたが，果実とヘタの間や樹皮の隙間など薬剤が到達しにくい場所に生息していることや，防除効果の高いふ化幼虫発生時期が把握しにくいなど，その効果には限界がある。そこで，本種に対する防除技術の開発を試みた。

1．フジコナカイガラムシ防除に土着天敵を活用するため，県内カキ園における土着天敵相を調べたところ，寄生蜂 8 種と捕食者 5 種が確認された。特に採集数の多かったのは寄生蜂のフジコナカイガラクロバチ *Allotropa subclavata* およびフジコナカイガラトビコバチ *Anagyrus fujikona*，捕食性タマバエの 1 種 *Diadiplosis hirticornis* であった。

2．無防除カキ園ではフジコナカイガラムシの発生が少ないことから，カキ園で使用される薬剤が天敵に悪影響を及ぼし，フジコナカイガラムシのリサージェンスを引き起こしている可能性がある。そこで，県内の天敵相調査で最も多く確認された寄生蜂フジコナカイガラクロバチに対する各種薬剤の影響を調べた。その結果，直接的な悪影響は，供試した IGR 剤，BT 剤，殺菌剤ではほとんど認められなかった。一方，合成ピレスロイド剤やネオニコチノイド系剤，有機リン剤はほぼ 100%の死亡率を示した。合成ピレスロイド剤およびアセタミプリド水溶剤を除くネオニコチノイド系剤はいずれも 2 週間以上悪影響が持続した。有機リン剤は剤によって残留性による悪影響を及ぼす期間が異なり，プロチオホス水和剤は 2 週間以上であったがフェニトロチオン水和剤では 5 日未満であった

3．フジコナカイガラクロバチに比較的悪影響が少ない剤を利用したカキ害虫の防除体系，天敵活用型防除体系を構築した。この体系では，① フジコナカイガラムシの防除は越冬世代と第 1 世代幼虫発生時期のみ行い，第 2 世代以降のフジコナカイガラムシに対する薬剤防除は行わない。② 害虫防除で使用する薬剤はフジコナカイガラクロバチに及ぼす悪影響ができるだけ小さいものを選ぶ，そして，③ 果樹カメムシ類等突発的に発生する害虫は必要に応じて防除を追加する。特に，果樹カメムシ類が多飛来する場合は従来の合成ピレスロイド剤に替えてネオニコチノイド系剤で防除することとし，この天敵活用型防除体系の効果について検証した。この防除体系により，慣行の防除体系に比べてフジコナカイガラムシの高い被害抑制効果が得られ，さらに，薬剤散布回数や経費も削減できることが明らかになった。

4．土着天敵のフジコナカイガラクロバチに悪影響を及ぼすが，フジコナカイガラムに対する防除効果が高いネオニコチノイド系殺虫剤の高濃度溶液をカキ樹主幹部に塗布することにより，土着天敵に悪影響を及ぼさずにフジコナカイガラムシを防除する樹幹塗布法を考案した。発芽前に高濃度のジノテフラン水溶剤を塗布することで，殺虫成分が樹液の流動に乗って植物体内に行き渡り，4 月以降越冬場所から離脱して樹液を吸汁するフジコナカイガラムシに対する防除効果が認められた。さらに，塗布剤処理前に主幹部の粗皮を木質部近くまで深く丁寧に削る，主幹に加え主枝部まで広く処理する，処理後できる限り長く塗布剤をとどまらせるため降雨前を避けて処理する等により防除効果が向上した。

5．フジコナカイガラムシの合成性フェロモン剤（主成分：2-イソプロピリデン-5-メチル-4-ヘキセン-1-イルブチレート）を用いた防除適期であるふ化幼虫発生時期の予測を試みた。フェロモントラップにおける越冬世代雄成虫誘殺ピークを起点とし，平均気温を用いた有効積算温度法により予測した第一世代の幼虫ふ化時期は，誘引バンドにおける実測値と概ね一致した。この予察法により薬剤防除の効果向上が期待される。

6．合成性フェロモン剤の，フジコナカイガラムシに対する交信撹乱効果を明らかにした。野外条件下で，カキ園（4～5a）に越冬世代幼虫発生時期にフェロモン剤をカキ樹に設置したところ，雄成虫定着阻害効果および交尾阻害効果が認められ，雌成虫の産卵雌率を低下させることができた。3 年間延べ 4 ほ場で試験を行い，性フェロモン剤を用いた交信撹乱による次世代の密度抑制効果が示された。

7．コナカイガラムシ類の寄生蜂サワダトビコバチ *Anagyrus sawadai* を誘引する物質 2,4,4-トリメチル-2-シクロヘキセニルメチルブチレート（シクロラバンデュリルブチレート，以下，CLB）を発見した。*A. sawadai* は自然条件下ではフジコナカイガラムシには寄生しないが，CLB 設置下では寄生する。また，フジコナカイガラムシの土着天敵フジコナヒゲナガトビコバチ *Leptomastix dactylopii* も，CLB 設置下では寄生率が向上した。3 年間述べ 4 か所の現地カキ園における試験で, CLB による次世代の密度抑制効果が示された。

以上の結果を組み合わせることにより，フジコナカイガラムシによる被害が抑制される上，殺虫剤散布回数の削減が期待される。殺虫剤散布回数の削減は，近年懸念されているフジコナカイガラムシの薬剤感受性低下の回避や，環境負荷の軽減，消費者ニーズへの対応など，様々な効果が期待できる。

引用文献

Abbott, W. S. (1925) A method of computing the effectiveness of an insecticide. J. Econ. Entomol. 18: 265-267.

Abe, J. (2003) Taxonomic and ecological studies of the Japanese predaceous gall midges. Ph D. thesis at Kyushu University, 107 pp.

赤山敦夫 (2002) 新殺虫剤クロチアニジン剤の使い方. 植物防疫 56: 388-391.

Arai, T., H. Sugie, S. Hiradate, S. Kuwahara, N. Itagaki and T. Nakahata (2003) Identification of a sex pheromone component of Pseudococcus cryptus, J. Chem, Ecol. 29: 2213-2223.

Berry, J. A. (1995) Moranilini (Insecta: Hymenoptera). Fauna of New Zealand 3: 66.

Bokonon-Ganta A. H., P. Neuenschwander, J. J. M. van Alphen, and M. Vos (1995) Host stage selection and sex allocation by Anagyrus maangicola (Hymenoptera: Encyrtidae), a parasitoid of the mango mealybug, Rastrococcus invadens (Homoptera: Pseudococcidae). Biological Control 5: 479-486.

Ceballo, F. A., Papacek, D. and Walker, G. H. (1998) Survey of mealybugs and their parasitoids in southeast Queensland citrus. Australian Journal of entmology 37: 275-280.

De Jong P. W. and Jacques J. M. van Alphen (1989) Host size selection and sex allocation in Leptomastix dactylopii, a parasitoid of Planococcus citri. Entomol. Exp. appl. 50: 161-169.

Van Driesche, R. G., Belloti, A., Herrera, C. J. and Castillo, J. A. (1987) Host feeding and ovipositor insertion as sources of mortality in the mealybug *Phenacoccus herreni* caused by tow encyrtids, *Epidinocarsis diversicornis* and *Acerophagus coccois*. Entomol. Exp. Appl. 44, 97-100.

福本毅彦・望月文昭（2007）世界における交信かく乱剤の利用状況－2006 年の実績から－. 植物防疫 61: 276–279.

福岡県（2008）平成 20 年度　果樹病害虫・雑草防除の手引き. 福岡県，福岡. 254 pp.

福岡県 (2015) 平成 27 年度版病害虫・雑草防除の手引き. http://www.pref.fukuoka.lg.jp/contents/27tebiki.html

古橋嘉一・森本輝一 (1989) ハダニ類の合成ピレスロイド剤によるリサージェンスと防止対策. 植物防疫 43: 375-379.

行徳直己・山田健一・村田　全 (1968) カキノヘタムシガの発生予察に関する研究. 九病虫研会報. 14: 53-55.

橋野洋二（2002）新殺虫剤チアメトキサム剤の特性と使い方．植物防疫 56: 165-169.

長谷川仁・梅谷献二（1974）果樹におけるカメムシ類の多発被害．植物防疫 28: 279-286.

平嶋義宏（1989）日本産昆虫総目録．九州大学農学部昆虫学講座，福岡．1767 pp.

平嶋義宏・森本　桂（2008）新訂原色昆虫大図鑑　第Ⅲ巻．北隆館，東京．654 pp.

井上良平（2003）フジコナカイガラムシの捕食寄生蜂フジコナカイガラヤドリトビコバチの生物的防除資材としての有効性．九州大学大学院，福岡．39pp.

伊澤宏毅（1990）ナシに寄生するクワコナカイガラムシの防除対策. 植物防疫 44: 260−263.

Japoshvili, G., Y. Higashiura and S. Kamitani (2016) A review of Japanese Encyrtidae (Hymenoptera), with descriptions of new species, new records and comments on the types described by Japanese authers. *Acta Entomologica Musei Nationalis Pragae* 56: 345-401.

Jervis, M. A. and N. A. C. Kidd (1986) Host-feeding strategies in hymenopteran parasitoids. Biol. Rev. 61: 395-434.

河合省三（1980）日本原色カイガラムシ図鑑．全国農村教育協会，東京．455 pp.

小池　朗・根本　久・天野　洋（2000）カブリダニ捕獲トラップ（Phyto trap）の開発およびその利用によるナシ樹上のカブリダニ種構成と発生消長の調査. 応動昆 44 (1): 35-40.

Kondo, A. and T. Hiramatsu (1999) Resurgence of the peach silver mite, *Aculus fockeui* (Nalepa et Trouessart) (Acari: Eriophyidae), induced by a synthetic pyrethroid fluvalinate. *Appl. Entomol. Zool.* 34: 531-535.

松本幸子・嶋田　格・波多江　悟・山田健一・山中正博・堤　隆文（2001）ヒノキ花芽分化期の気象条件によるチャバネアオカメムシの発生量の早期予測法．九病虫研会報 47: 128-131.

Meiners, T. and M. Hilker (1997) Host location in *Oomyzus gallerucae* (Hymenoptera: Eulophidae), an egg parasitoid of the elm leafbeetle *Xanthogaleruca luteola* (Coleoptera: Chrysomelidae). Oecologia 112: 87-93.

宮原　実・山田健一（1978）果樹を加害するカメムシ類の生態と防除に関する研究．福岡県園試報告 16

宮田明義・岡崎芳夫（2002）ウンシュウミカンの交互結実栽培におけるミカンハモグリガの省力防除方法の開発．園芸学研究 1: 137-142.

森下正彦（2005）シペルメトリン水和剤の連用散布によるフジコナカイガラムシの密度増加. 関西病害虫研報 47: 125-126.

森下正彦（2006）虫体・葉片散布法によるフジコナカイガラムシの薬剤感受性．応動昆 50: 211−216.

村上陽三（1966）クワコナカイガラムシの天敵に関する研究Ⅱルリコナカイガラヤドリバチとクワコナカイガラヤドリバチの生態の比較．園芸試験場報告 A5: 139-163.

Negishi, T., M. Uchida, Y. Tamaki, K. Mori, T. Ishiwatari, S. Asano and K. Nakagawa (1980) Sex pheromone of the comstock mealybug, *Pseudococcus comstocki* Kuwana: isolation and identification. *Appl. Entomol. Zool.* 15: 328-333.

日本植物防疫協会（2005）農薬ハンドブック 2005 年度版（改訂版）．日本植物防疫協会，東京．820 pp.

大林延夫・清水喜一・岩田直記・永田健二（1989）性フェロモンによるコナガの防除．植物防疫 43: 325–328.

大野和郎・大森　隆・嶽本弘之（1999）施設ガーベラのマメハモグリバエに対する土着天敵の働きと農薬の影響．応動昆 43: 81-86.

小澤朗人・西東　力・池田二三高（1998）マメハモグリバエの天敵寄生蜂 *Diglyphus isaea* および *Dacnusa sibirica* に対する各種農薬の影響．応動昆 42: 149-161.

Sabelis, M. W., B. P. Afman and P. J. Slim (1984) Location of distant spider-mite colonies by *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acarina: Phytoseiidae): Localization and extraction of a kairomone. Proc. 6th Int. Congr. Acarol. Edimburgh, U.K. 1: 431-440.

西東　力・大石剛裕・池田二三高(1933) ペルメトリンの散布によるマメハモグリバエのリサージェンス．関東東山病虫研報 40: 233.

西東　力・池田二三高・小澤朗人(1936) 静岡県におけるマメハモグリバエの寄生者相と殺虫剤の影響．応動昆 40: 127-133.

坂神泰輔・工藤　晟（2003）ひと目でわかる果樹の病害虫　第二巻（改訂版）ナシ・ブドウ・カキ・クリ・イチジク．日本植物防疫協会，東京．238 pp.

佐藤力朗（1984）フェロモン実験法（2）：モモシンクイガ．日本植物防疫協会フェロモン研究会．東京．103-115. pp.

佐藤力郎（1992）落葉果樹害虫防除への性フェロモンの利用．福島果試報 15: 27-91.

澤村信生・奈良井祐隆（2008）フジコナカイガラムシおよびクワコナカイガラムシの発育と増殖能力に及ぼす温度の影響．応動昆 52: 113-121.

柴尾　学・田中　寛（2000）イチジクにおけるフジコナカイガラムシの発生消長と薬剤防除効果．応動昆中国支会報 42: 1–6.

白崎将瑛・山田雅輝（1983）　リンゴ害虫の性フェロモン利用１．フェロモントラップによるリンゴコカクモンハマキの発生調査．青森りんご試報 20: 31-52

Sugie, H., M. Teshiba, Y. Narai, T. Tsutsumi, N. Sawamura, J. Tabata and S. Hiradate (2008) Identification of a sex pheromone component of the Japanese mealybug, *Planococcus kraunhiae* (Kuwana). *Appl. Entomol. Zool.* 43: 369–375.

杉浦直幸・吉田達雄・吉田麻里子・飛野敏明・榊　英雄・山田一宇（2012）カキ‘太秋’における収穫後の早期軟化果発生に及ぼすフジコナカイガラムシの影響．九病虫研会報 58: 88-92.

Tabata, J. (2013) A convenient route for synthesis of 2-isopropyliden-5-methyl-4-hexen-1-yl butyrate, the sex pheromone of Planococcus kraunhiae (Hemiptera: Pseudococcidae), using a β, γ- to α, β-double-bond migration in an unsaturated aldehyde. *Appl. Entomol. Zool.* 48: 229-232.

Tabata, J., M. Teshiba, S. Hiradate, T. Tsutsumi, N. Shimizu and H. Sugie (2011) Cyclolavandulyl butyrate: an attractant for a mealybug parasitoid, *Anagyrus sawadai* (Hymenoptera: Encyrtidae). *Appl. Entomol. Zool.* 46: 117–123.

田中福三郎（1979）ナシヒメシンクイの発生時期の予察．植物防疫 33: 297-302.

田中福三郎（1986）交信撹乱法によるナシヒメシンクイの防除．植物防疫 40: 9-12.

田中福三郎（1989）　合成性フェロモンによる農業害虫の発生予察並びに直接的防除に関する研究．岡山農試臨報 79: 83-147

田中　学・小林正弘（1968）フジコナカイガラムシの寄生蜂 *Allotropa* sp.の産卵および羽化．九病虫研会報 14: 58-61.

田中　学・小林正弘（1971）フジコナカイガラムシ第 2 世代に対する *Allotropa subclavata* の放飼効果．九病虫研会報 17: 74-77.

多々良明夫・古木孝典・原川勝好（1993）輸入天敵によるマメハモグリバエの防除 I 日本における寄生性の確認及び薬剤の影響．関東東山病虫研報 40: 235-237.

田付貞洋（1996）フェロモンの特性と利用技術．植物防疫 50: 464-467.

手柴真弓（2007）フジコナカイガラムシ接種バンドトラップによって採集された土着天敵類．今月の農業 51: 75-79.

手柴真弓・堤　隆文（2009）フジコナカイガラムシの土着天敵 *Diadiplosis hirticornis*（ハエ目:タマバエ科）の発育ゼロ点と有効積算温度，羽化時刻．九病虫研会報 55: 152-155.

手柴真弓・堤　隆文・杉江　元・田端　純・平舘俊太郎・奈良井祐隆・澤村信生（2009）フジコナカイガラムシの性フェロモン．植物防疫 63: 341-344.

Teshiba, M., H. Sugie T. Tsutsumi and J. Tabata (2012) A new approach for mealybug management: recruiting an indigenous, but 'non-natural' enemy for biological control using an attractant. *Entomol. Exp. Appl.* 142: 211-215.

手柴真弓・河野聡子・高木正見（2015）フジコナカイガラムシの捕食寄生蜂フジコナカイガラクロバチの寄主齢選好性．九病虫研会報 61:68-72.

戸田世嗣・柏尾具俊（1997）ヤマトクサカゲロウ幼虫に対する農薬の影響．九病虫研会報 43: 101-105.

杖田浩二（2014）フジコナカイガラムシ性フェロモンの 2 種寄生蜂に対する誘引性．応動

昆 58: 147-152.

堤　隆文 (2000) 果樹カメムシ類の口針鞘調査法．平成 12 年度病害虫防除所職員等中央研修テキスト．農林水産省生産局植物防疫課．50-53.

Turlings, T. C. J., J. H. Tumlinson and W. J. Lewis (1990) Exploitation of herbivore-induced plant odors by host-seeking parasitic wasps. Science 250: 1251-1253.

上野晴久（1963）カキを加害するカイガラムシ類の研究　第 1 報フジコナカイガラムシ越冬幼虫の行動．応動昆 7: 85–91.

若村定男（1993）性フェロモン防除法の適用条件．植物防疫 47: 499–502.

Walton, V. M., K. M. Daane, W. J. Bentley, J. G. Millar, T. E. Larsen and R. Malakar-Kuenen (2006) Pheromone-based mating disruption of Planococcus ficus (Hemiptera: Pseudococcidae) in California vineyards. *J. Econ. Entomol.* 99: 1280-1290.

山田英一 (2003) 新規浸透性殺虫剤ジノテフラン剤の殺虫効果とその使い方. 植物防疫 57: 74-79.

山田健一 (1979) 果樹を加害するカメムシ類の生態と防除．農業および園芸 54: 1488-1492.

山田健一 (1980) 果樹を加害するカメムシ類の生態と防除 (2)．農業および園芸 55: 37-40.

山田健一 (1982) 果樹を加害するカメムシ類の生態と防除に関する研究　第 5 報　カキ果実への加害．九病虫研会報 28: 203-206.

山田健一・宮原　実 (1980) 果樹を加害するカメムシ類の生態と防除に関する研究 (第 3 報): チャバネアオカメムシとツヤアオカメムシの寄主植物について．福岡園試研報 18: 54-61.

山田健一・野田政春・野口忠広・熊本勝己 (1983) 果樹を加害するカメムシ類の生態と防除に関する研究 (第 6 報) チャバネアオカメムシの越冬密度調査法. 九病虫研会報 29: 158-163.

山村裕一郎・嶽本弘之 (2001) マメハモグリバエの寄生性土着天敵ハモグリミドリヒメコバチ成虫に対する各種農薬の影響．福岡農総試研報 20: 37-41.

矢野栄二（2003）天敵：生態と利用技術．養賢堂　(東京)．pp. 296.

安田慶次・吉武　均・大石　毅・藤堂　篤・上地奈美 (2007) ミカンキジラミ成虫に対する浸透移行性殺虫剤の高濃度液樹幹散布による殺虫効果．産卵回避について．九病虫研報 53: 95-98.

安松京三・渡辺千尚（1965）日本産害虫の天敵目録　第 2 篇　害虫・天敵目録. 九州大学農学部昆虫学教室，福岡. 116pp.

Summary

Integrated management of *Planococcus kraunhiae* (Kuwana) (Homoptera: Pseudococcidae) injuring Japanese persimmons

Planococcus kraunhiae is the most serious pest of Japanese persimmons. The pest has been controlled only by insecticide, but chemical control is not successful because of hidden pest habitat and too small size of hatching nymphs to find. Development of integrated management system of the pest is very important for persimmon growers in Japan. I studied natural enemies of the pest, side effects of chemical control to the natural enemies, and monitoring methods of seasonal hatching nymph by using artificial female sex pheromone of the pest to establish the integrated management system of the pest.

1. The natural enemy complex of *P. kraunhiae* was investigated in Fukuoka. I found 8 parasitoid species and 5 predator species, and that *Allotropa subclavata*, *Anagyrus fujikona*, *Diadiplosis hirticornis* were among the most common.
2. Some pesticides used in Japanese persimmon orchards, such as Synthetic pyrethroid, Neonicotinoids, Organophosphates are harmful to natural enemies and induce resurgence of *P. kraunhiae*. In treated wall contact test, IGRs and BT were not so harmful. According these results, I established natural enemies-friendly pest control system with non-harmful pesticides. It was revealed that this control system was more effective than conventional pest control systems and could reduce the number of pesticide splay and cost. The period of residual contact toxicity of synthetic pyrethroids and neonicotinoids other than acetamiprid were more than 2 weeks. The period of residual contact toxicity of organophosphates was different depending on the kind. The period was more than 2 weeks in prothiofos and fewer than 5 days in fenitrothion.
3. The integrated management system of *P. kraunhiae* with utilizing natural enemies was established by using more mild pesticide to *All. subclavata.* The system was as follows: ① Chemical control was applied only for the over wintering and the first generations of *P. kraunhiae*, and after its second generation was controlled by natural enemies, instead of insecticide, ② Use more mild insecticide for other pests as possible, ③ Use neonicotinoids, instead of synthetic pyrethroid, in the year when *Plautia stali* invaded from outside the persimmon orchards and became serious pest. This control system can reduce time and cost of persimmon farmers than the conventional control system with only insecticide.
4. Direct whole trees splay of insecticide was not good for natural enemies even in the case of neonicotinoids. To improve application methods of such harmful insecticides, I tried direct

application method of neonicotinoids on the trunks of Japanese persimmon. In this method, dinotefuran water-soluble mixed with thiophanate-methyl paste or water was applied to tree of Japanese persimmon at high concentrations before April. *P. kraunhiae* nymphs of over wintering generation were controlled in April when they start to suck tree sap. This method has no effect for *All. subclavata*. In addition, removing flayed barks perfectly to woody part before applied, apply extensively not only trunk but also bough, avoid removing by the rain as possible.

5. It was developped that prediction approach of hatching time of *P. kraunhiae* first generation that is most sensitive by peak of male of *P. kraunhiae* on pheromone-trap, combined artificial female sex pheromone of *P. kraunhiae* (major component: 2-isopropyliden-5-methyl-4-hexen-1-yl butyrate) and sticky boad, and average temperature. This prediction approach is precision, so it is expected to extend control effect of applied insecticide on *P. kraunhiae*.
6. I demonstrated that a synthetic disruptet the mating of *P. kraunhiae*. In Japanese persimmon orchards (4~5a), the dispersion of high concentrations of the synthetic sex pheromone disturbed male orientation, leading them towards the pheromone traps, and consequently reduced the number of females that copulated. In the persimmon orchard, mating disruption based on the synthetic pheromone successfully controlled the population density of *P. kraunhiae* in the next generation at 4 experiments for 3 years.
7. I previously discovered that (2,4,4-trimethyl-2-cyclohexenyl)-methyl butyrate (cyclolavandulyl butyrate, CLB) is an attractant for the maealybug-parasitic wasp Anagyrus sawadai. This wasp is not likely to parasitize *P. kraunhiae* under natural conditions. In this study, I showed that this 'non-natural' enemy wasp can parasitize *P. kraunhiae* in the presence of CLB in field experiments. Moreover, CLB attracted another minor parasitoid, Leptomastix dactylopii, which also parasitized more *P. kraunhiae* in the presence of CLB. In addition, CLB successfully controlled the population density of *P. kraunhiae* in the next generation at 4 experiments for 3 years in Japanese persimmon orchards.

By generalizing these results, it was expected that injury by *P. kraunhiae* and insecticides applying time were reduced. Reducing insecticide applying time brings some good results that avoidance lowering insecticide sensitively, relief environmental load, satisfy consumer needs.

福岡県農林業総合試験場特別報告
第６号

カキにおけるフジコナカイガラムシの
総合的防除法の開発

発　行　　平成２９年３月

福岡県農林業総合試験場
〒818-8549　福岡県筑紫野市大字吉木587
TEL　092-924-2971

著　者　　手柴　真弓

印刷所　　よしみ工産株式会社
〒804-0094　北九州市戸畑区天神１丁目13番5号
TEL　093-882-1661