ISSN 0915－4698

環動昆

報　文

中村寛志・豊嶋　弘：チョウの分布からみた環境評価
－RI指数を利用した香川県の例について－ …… 1

SORNNUWAT Yupaporn・Charunee VONGKALUANG・吉村　剛・
角田邦夫・高橋旨象：小石を利用したフィジカルバ
リアーへの地下シロアリ（*Coptotermes gestroi* WASMANNと*Coptotermes formosanus* SHIRAKI）
の穿孔能力（英文） …… 13

短　報

原田裕行・辻　英明：ゴキブリ食毒剤に対するマイクロカプセ
ル剤の付着効果 …… 20

原田裕行・辻　英明：オガサワラゴキブリ *Pycnoscelus surinamesis*（LINNÉ）の耐寒性 …… 22

那須義次・田中　寛：ドライフラワーに発生したチャマダラメ
イガについて …… 24

解　説

川端眞人：日本の節足動物媒介感染症とその動向 …… 27

安部八洲男：家庭用・防疫用殺虫剤における点処理技術について …… 32

研究奨励賞受賞論文

川田　均：マイクロカプセル化殺虫剤の作用機構に関する研究 …… 37

会　報 …… 49

会員動静

日本環境動物昆虫学会会則

日本環境動物昆虫学会誌投稿規定

学術会議だより

第７回日本環境動物昆虫学会大会案内

Vol.7

1

1995

日本環境動物昆虫学会

環動昆
第7巻　第1号：1−12（1995）

チョウの分布からみた環境評価

−RI指数を利用した香川県の例について−

中村　寛志[1)]・豊嶋　弘[2)]

1）瀬戸内短期大学
2）香川県国分寺町

（受領：1995年1月13日；受理：1995年3月16日）

Environmental Evaluation by Distribution of Butterflies −On the Case in Kagawa Prefecture using the RI-index−. Hiroshi NAKAMURA[1)] and Hiromu TOSHIMA[2)] ([1)] Setouchi Junior College, Takase-cho, Mitoyo-gun, Kagawa 767, Japan ; [2)] Kokubunji-cho, Ayauta-gun, Kagawa 769-01, Japan). *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.* **7** : 1−12 (1995)

A simple method using the RI-index to evaluate the natural environment is presented. The RI-index is given by the formula, $RI=\sum_{i}^{S} R_i/\{S\cdot(M-1)\}$, here S is the number of investigated species of insects, M is the number of rank of abundance (0, 1, 2 ··· M−1) and R_i is the rank value of the ith species. The value of this index ranges from 0 to 1 and indicates that the closer it gets to 1, the more species and individuals inhabit the survey place. The RI-index and two other ecological index (naturality index, Cs index) of 344 survey points in Kagawa Prefecture were calculated based on the research data on 55 species of butterflies. The differences of geographical and floral environments among survey points were found by the RI-index. Close agreement of evaluation of natural environment and adequate correlations between the RI-index and two other indexes were obtained on the whole, though there were slight differences in their evaluations. Changes in pine forests in Kagawa after occurrence of pine wilt disease was suggested from the correlation between the RI-index and the height of the survey point. The validity and appropriateness of the RI-index are discussed as an indicator of evaluation of the natural environment.

Key Words : RI-index, Environmental evaluation, Butterflies, Kagawa Prefecture

香川県内344地点におけるチョウ55種の生息調査をもとに，種数と個体数の相対的多さを示す順位データを使ったRI指数を提示し，環境評価を試みた．この指数は，S種の昆虫を対象に調査を行い，種ごとにM段階（0，1，2…M－1）で個体数の多少を表現するランクを付けると，$RI=\sum^{S} R_i/\{S\cdot(M-1)\}$で与えられる．RI指数は0から1までの値をとり，1に近いほど種数，個体数ともに多いことを表す．この指数とあらかじめ種に評価の値をもたせた環境評価の方法（自然度）と種数データのみによる評価法（Cs係数）とを比較検討した．その結果，RI指数は香川県内における地域間の地理的環境の相違を表すことができた．個々の地点の評価内容は多少異なっていたが，全体として他の指数と評価の一致性および良い相関関係が得られた．また調査地の植生環境の違いをある程度反映できた．マツ・ヒノキなどの植林地の環境において，RI指数と標高との相関から，マツ枯れ被害後の香川県内のマツ林の変化が評価できた．RI指数の環境評価指数としての有効性および自然度のような種に評価値をもたせる手法との相違について考察した．

緒　言

チョウ類の群集構造を解析して環境評価を行う試みは，さまざまな手法を用いて行われている．これらのデータ解析手法は，方法論的にみると二つに大別できる．その一つは，ある群集内に生息する生物の種数や個体数を基にして，群集の複雑さを示す種多様度（species diversity）を表現するものである．これには森下（1967）のβ，SIMPSON（1949）のλやMACARTHUR（1955）のH'などさまざまな指数が考案されている．また木元のC_π指数（木元・武田，1989）などのように，種構成の重複度を表現する指数がある．これらの指数を使って調査地間の生物相の多様度や重複度を相対的に比較し，環境評価を行う方法である．これらの解析手法の共通した方法論的特徴は，例えばモンシロチョウでもウラギンスジヒョウモンでも1種として取り扱い，いずれも同じウエイトで指数に反映することである．

もう一つの方法は，種にある基準で環境の重みを付加した評価値をもたせ，それを指数の計算に含めたものである．これには田中（1988）の環境階級存在比（ER），稲泉（1975）の方法，巣瀬（1993）の方法などがある．特に環境階級存在比（ER）は，調査地における環境段階の割合を求め自然度を判定する分析的手法で，チョウ類群集を基にした環境アセスメントなどに有効的に利用されている（桜谷・藤山，1991；石井ら，1991）．あらかじめ種に環境評価の値をもたせる方法では，「なにを基準として」環境を評価するかという点の如何によって，環境評価のウエイトが異なる場合や希少種が過大評価されることがある．また種によって地理的な分布が異なるため，種の評価値がすべての地域に妥当であるとは限らないことがある．

一方，多様度指数などのように個体数データを使って指数を求める方法では，時期や方法，気候条件などかなり厳密な調査計画や，これらのファクターを調整する変換式などの2次的な手法が要求される．そのため調査時期や方法が異なっていたり，生息数の相対的な多少の程度は得られているが，定量的な個体数データとしては不完全な，いわゆるラフなデータを取り扱うことはできない．しかし，このようなデータであっても情報量は少なくなるが，個体数の相対的多さを示す順位尺度を用いることによって，環境評価のための指数として利用することができる．

本研究では種類と，個体数の相対的多さを示す順位のデータを基にしたRI指数を提示し，香川県内におけるチョウの生息調査データを利用して環境評価を試みたものである．さらに豊嶋（1988）が考案したあらかじめ種に評価の値をもたせた環境評価の方法（自然度）と，種数データのみによる評価の手法（C_S係数）を求めて比較検討した．

なお本調査は，香川県の自然環境保全のために必要な資料を得ることを目的として実施した香川県自然環境保全指標策定事業の一環として行なったものである．

材料と方法

1．調査方法

本調査は55種のチョウ類を対象として，1980年から1985年にわたって，香川県内の344地点で実施した．調査対象とした種は，香川県から記録されている98種のチョ

ウの中から，以下の条件を満たすものを選定した．(a)年2化性以上で成虫のみられる期間が長い種，(b)生息範囲が比較的広く，また生息数が稀でない種．科別種類の内訳は，セセリチョウ科7種，アゲハチョウ科9種，シロチョウ科4種，シジミチョウ科8種，タテハチョウ科17種，ジャノメチョウ科8種であった．

調査はいずれの年も7月から9月の期間に実施し，成虫のみを対象とした．どの調査地点においても，4－6kmの調査ルートを約2時間かけて歩き，その間に目撃したチョウの種と個体数を記録した．調査は午前9時から午後3時までの時間帯の間で行った．また叩き出しなどの特別な技法は用いなかった．

2．調査地の概要

調査地は香川県内全域からさまざまな生息環境を代表しているとみなせる344地点を選んだ．地域別の地点数は西讃地域（面積339.74㎢）64地点，中讃地域（1053.41㎢）191地点，東讃地域（311.92㎢）57地点，小豆島（169.86㎢）32地点で，いずれの地域でも面積に対応した地点数を選定した．各調査地点について，環境の概要，植物相および平均標高を記録した．

環境評価の指数としてRI指数の有効性と妥当性を調べるため，調査した344地点を表1に示したような9つの環境に分類した．1985年の香川県土地課税台帳に登録されている民有地のうち，宅地面積は133.85㎢で全体の7.1％，田畑は479.98㎢で25.5％であった（香川県企画部統計調査課，1986）．一方，本調査の市街と田畑の環境での調査地点のサンプル数の割合は，4.1％と14.5％で面積に比して少なく，山林，平地林，社叢林の調査地点数が多くなった．これは本調査の自然環境保全指標策定事業という性質のためであった．

3．評価方法

チョウの生息調査データを基に，以下に述べる3つの方法でそれぞれの調査地点の指数を求めた．

RI指数　この指数はもともとアンケート調査のデータから，学生の授業科目に対する関心度の程度を表すための指数として用いられたもので，次の式で与えられる（中村，1987；三宅・中村，1989）．

$$RI = 1 - \frac{\frac{\sum_{i}^{S} R_i}{S} - 1}{M - 1} \qquad \cdots(1)$$

ここでSは調査した学生数，Mはアンケートの選択肢数，R_iはi番目の学生が選んだ選択肢の番号である．RI指数は常に0から1までの値をとる．

この指数を環境評価に応用するには，ある地域でS種の昆虫を対象に調査を行い，種ごとにM段階（0，1，2…M－1）で個体数の多少を表現するランクを与える．これを基にその調査地点のRI指数は式(1)を変形した次の式で与えられる．

$$RI = \frac{\sum_{i}^{S} R_i}{S \cdot (M-1)} \qquad \cdots(2)$$

式(1)と同じく，式(2)で求めたRI指数も0から1までの値をとり，1に近いほど種数，個体数ともに多いことを表す．本研究では，調査対象種が55種なのでS＝55，またランクは4段階（0＝いない，1＝1-2個体，2＝3-9個体，3＝10個体以上）とした．

自然度　豊嶋（1988）は，チョウの種ごとに与えた環境の指標価（種自然度）と確認された種数（sp）を基に，調査地点の環境評価を行なう指数（自然度）を考案した．この方法は基本的に巣瀬（1993）の環境指数（EI）と同じで，D_iをi番目の種の種自然度の値とする

表1　分類した環境の概要と調査地点数および標高

環　境	地点数	標高範囲（m）[1)]	概　要
市　街	14	2－32	市街地・工場地・埋め立て地
田　畑	50	2－200（675）	水田・畑と農村集落地帯
果樹園	9	25－240	ミカン等の果樹園
河　原	17	3－55	河原の草原と堤防林
植林地	45	1－750	マツ林とスギ・ヒノキの植林地
混合林	86	20－665	マツ・ヒノキの植林地と広葉樹の混在した林
広葉樹	27	45－898	落葉広葉樹（一部常緑）中心の林
混在地	75	25－600	混合林と水田・畑・果樹園の混在地
社叢林	21	10－225（500）	シイ・カシなど常緑広葉樹を中心とした寺社林

1)：田畑と社叢林の括弧内の数字は，他より特に高い地点の標高を示す．

と次の式で与えられる．

$$自然度=\sum^{sp} Di \qquad \cdots(3)$$

種自然度は，香川県内における生息環境，分布状況，生息個体数，過去の現状調査結果などを考慮して与えられた．

C_S係数　この方法はCZEKANOWSKIなどによるもので，2地域間の種構成の共通度を示す指数で次の式で与えられる（伊藤ら，1980）．

$$C_S=\frac{2S_C}{S_A+S_B} \qquad \cdots(4)$$

ここでS_A，S_BはA地域とB地域の種類，S_Cは両地域に共通な種の数である．

本研究では，この指数を使って344の調査地点の種構成を統一的に比較して環境評価を行うため，調査対象となった55種がすべて生息する架空の地点を設定した．すなわち$S_A=55$と固定し，S_Bは実際の調査種数を用いて（したがって$S_C=S_B$），それぞれの地点のC_S係数を求めた．この指数は種類が少ない地点間では，単純に$S_B/55$とした種類の割合より，敏感に種数の違いを反映する性質がある．

結　果

1．調査地域の評価値

各調査地点のRI指数，自然度およびC_S係数を求め，それらの香川県全体および地域別の平均値を表2に示した．中讃地域は他の地域より広いため，さらに中讃西部，土器川水系，中讃東部の3地域に分割して集計した．地域間の平均RI指数を比較すると，東讃と中讃東西部の値が高く，西讃と小豆島が低くなり，地域間でRI指数の分布に有意な差がみられた．環境別の調査地点の抽出割合は，表1で示した「田畑」，「果樹園」を農耕地とし，「植林地」，「混合林」，「広葉樹」を山林として込みにすると各地域間でほぼ同じであった（χ^2検定，$\chi^2=28.4$，$p=0.290$）．したがって，地域間にみられたRI指数の平均値の差は，地点のサンプリングの偏りではなく，標高1000m以上の山を有する阿讃山地が広がる中讃・東讃地域と，比較的低山地で田園地帯が広がっている西讃地域との地理的環境の相違を反映したものと考えられる．また自然度とC_S係数の地域別平均値も，RI指数とほぼ同様の傾向を示し，地域間でこれらの値の分布に有意な差がみられた．

この3つの指数のC．V．係数を比較すると，RI指数と自然度はほぼ50%前後であったが，C_S係数ではそれより小さな値であった（表2）．この相違は図1に示した調査地点のRI指数，自然度およびC_S係数の値の分布に示されている．C_S係数は平均値を中心にほぼ左右対称の分布をしているのに対して，他の2つは低い値の頻度が高かった．C_S係数のように種数のみで評価する場合と比較して，RI指数や自然度のように個体数や種の評価値でウエィト付けをした指数は，ばらつきが大きくなる傾向があることが示された．

2．RI指数と他の指数との関係

全調査地点を基にしたRI指数と種数との相関係数（r）は0.952（$P<0.001$）で，RI指数が調査地点の種数の多少を強く反映することを示している．またRI指数と自然度との相関係数（r）は0.906（$P<0.001$），C_S係数とは0.942（$P<0.001$）で，いずれも高い相関が得られた．また自然度とC_S係数では0.945（$P<0.001$）

表2　香川県内の地域別のRI指数，自然度，C_S係数

地域	地点数	RI指数[1]			自然度[2]			C_S係数[3]		
		平均値	C.V.(%)	最大値	平均値	C.V.(%)	最大値	平均値	C.V.(%)	最大値
西讃	64	0.113	50.9	0.242	27.1	55.6	63	0.374	38.9	0.642
中讃西部	76	0.160 a	53.7	0.345	37.6 b	58.8	89	0.461 ab	39.8	0.764
土器川	15	0.132	53.2	0.279	29.3	56.1	68	0.394	35.9	0.608
中讃東部	100	0.158 a	49.9	0.370	33.0	58.6	83	0.420	39.3	0.736
東讃	57	0.161 ab	40.4	0.303	35.8	43.2	70	0.451 b	30.0	0.675
小豆島	32	0.108	48.6	0.224	24.1	51.8	48	0.340	33.9	0.533
香川県	344	0.145	52.1	0.370	32.4	57.3	89	0.417	38.6	0.764

a，b：それぞれ，西讃，小豆島と危険率5%で有意差があることを示す（SCHEFFÉの方法による多重比較）．
1）：$\chi^2=29.2$，$P<0.001$，d.f.$=5$，2）：$\chi^2=19.3$，$P=0.002$，d. f.$=5$，3）：$\chi^2=26.9$，$P<0.001$，d.f.$=5$（KRUSKAL-WALIS検定）．

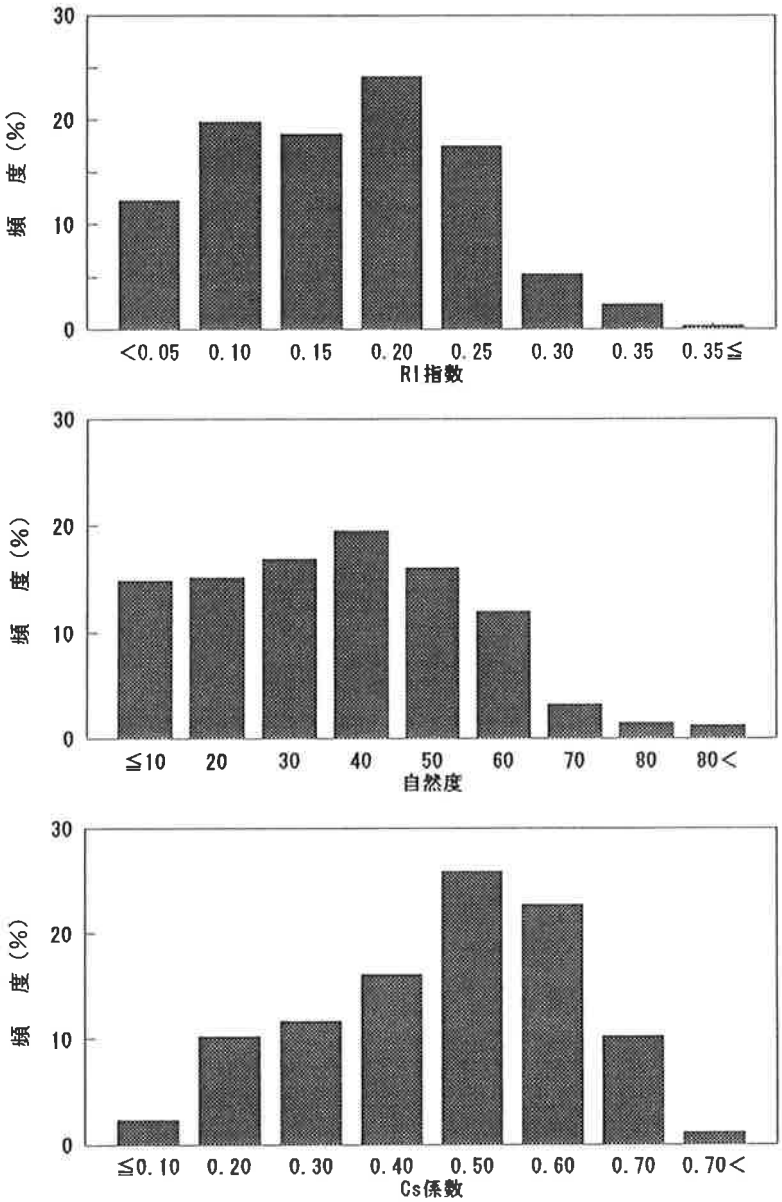


図1　調査地点のRI指数，自然度，C_S係数の値の分布.

であった．これは3つの指数がほぼ同じ傾向で環境評価をすることを示している．しかし，それぞれの指数を地点別に比較すると，評価傾向に違いがあった．混合林の86調査地点について，RI指数と自然度（図2A）およびRI指数とC_S係数（図2B）の値の散布図を示した．自然度とC_S係数の値は，混合林データの最大値と最小値を使ってそれぞれの値を一次変換し，RI指数と同じスケールにした．これによると，混合林という同一環境内でも，RI指数は自然度よりも大きな値を示し，C_S係数より幾分低い評価を示す傾向があった．

3つの指数の評価傾向の相違をより詳しく比較するために，RI指数の上位15地点について，自然度，C_S係数および種数を示した（表3）．これによると，種数の比較的少ない調査地点（上名23種，聖通寺山24種）では，

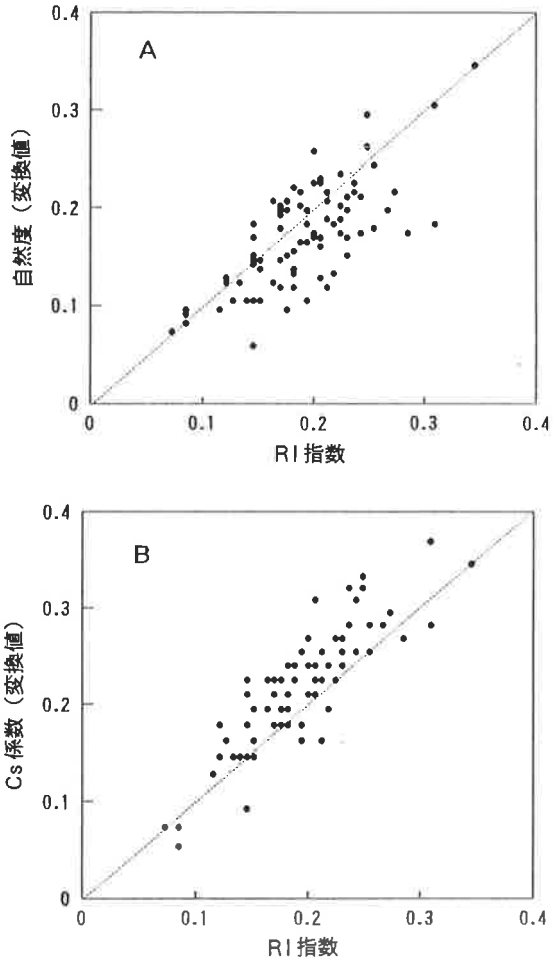


図2　混合林の調査地点（N＝86）におけるRI指数と自然度，C_S係数との比較．
A：RI指数と自然度
B：RI指数とC_S係数．破線はY＝Xを示す．

自然度とC_S係数は低いにも関わらず，RI指数は高い値であった．これはRI指数が個体数の多少をあらわすランクのファクターを評価に含めているためである．またRI指数で最も評価が高かった地点（細井：RI＝0.370，自然度＝83）と，自然度でも最も評価が高かった地点（下切：RI＝0.279，自然度＝89）を比較すると，2つの評価の方法論的違いが明らかになった．2地点ともに種数は同じであったが，細井は標高500−700mで，マツ・コナラ・アベマキ林と樹種の豊富な落葉広葉樹，さらにヒノキ植林地と水田・畑が混在する地域である．ここでは全体的にチョウの個体数のランクが高く（ランク合計値＝61），下切では発見されていないジャコウアゲハ，モンキアゲハ，モンシロチョウ，ルリシジミ，ウラナミシジミ，ムラサキシジミ，クロヒカゲが確認できた．これらの種はムラサキシジミとクロヒカゲを除いて，種ごとに与えた指標価である種自然度の値は低い（表6）．一方，下切は標高420−500mの山地の谷沿いに広葉樹林が残されている地点で，ランク合計値は46で細井より低かった．ここでは細井でみられなかったナミアゲハ，ウラギンヒョウモン，クモガタヒョウモン，メスグロヒョウモン，ホソバセセリ，コチャバネセセリ，サトキマダラヒカゲの生息が確認された．このうちナミアゲハを除くと種自然度の値は高く，ヒョウモンチョウ類が多いのが特徴であった．

また種数だけで評価したC_S係数の値が最も高かったのは萩ノ戸（RI＝0.345，自然度＝81）で，順位的にはRI指数に近かった．これらのことから，種に環境評価のウエイト付けをする自然度の様な評価方法では，ウエイト付けを行わないRI指数やC_S係数に比べ，調査者が設定した環境評価の基準を反映できることを示している．

3．RI指数による環境評価

本調査のデータを基にしたRI指数が，調査地点の環境をどの程度識別するかを調べるために，表1に分類した環境別にRI指数の平均値を求め多重比較を行った（表4）．RI指数の平均値は広葉樹林で最も高く，ついで混合林，社叢林であった．一方，市街，田畑，果樹園では低い値であった．また市街のC.V.係数が極めて高く，環境のばらつきが大きいことを示していた．次いで田畑，植林地のC.V.係数が高かった．KRUSKAL-WALLIS法による分散分析の結果，これらの環境間のRI指数の分布に有意な差が見られた（$\chi^2=193.0$，$p<0.001$）．またSCHEFFE型の方法による多重比較を行った結果，混合林と広葉樹では他の環境と有意に差が見られた．これらの結果から，本調査で選定した55種のチョウを対象とした調査データから求めたRI指数は，全体的に調査地点の環境条件の相違を反映しているといえる．

さらに詳しくRI値の分布を比較するために，図3に環境別のRI指数の割合を示した．これによると平均RI指数の異なる環境では，各地点のRI指数の分布に明瞭な違いが見られた．RI指数が0.05以下の地点は，市街，田畑，果樹園，河原，植林地にみられ，逆にRI指数が0.20以上の地点は植林地，混合林，広葉樹，混在地，社叢林であった．植林地のみがこの範囲内で重複してい

たが，RI指数の値でこの2つの環境グループを識別できることを意味している．

RI指数はその評価方法から，人為的営力の入っている環境かどうかを判定するのではなく，対象とした55種のチョウにとって，生息環境として適しているかどうかを反映している．このことは図3のRI指数の分布から明らかである．すなわち，社叢林では人的営力が少ないと考えられ，平均RI指数は比較的高い値であったが，個々の調査地点のRI指数は全て0.30未満であった．これは社叢林の植物相がシイ，カシを主体とした常緑広葉樹林で構成されているためである．自然環境保全地域に指定されている中讃東部の調査地点の藤尾神社（面積32.27ha）を例にとると，ここは香川県内では琴平山に次ぐアラカシ，ウラジロガシなどの常緑広葉樹林で，カミキリムシ等のコウチュウ類が数多く生息しており，またムラサキツバメの産地でもある．しかし，チョ

表3　環境評価の高い調査地点のRI指数，自然度，C_S係数の値

地　域	調査地点	環　境	RI指数	自然度	C_S係数	種　数
中讃西	下切	広葉樹	0.279	89	0.736	32
東讃	上名	混合林	0.285	45	0.590	23
中讃東	津柳	広葉樹	0.285	67	0.675	28
東讃	高仙山	社叢林	0.285	70	0.675	28
中讃東	池谷・平山	広葉樹	0.291	60	0.659	27
中讃西	平山	混在地	0.297	60	0.659	27
中讃西	蟹ケ谷南方	広葉樹	0.303	65	0.659	27
東讃	鹿庭川股下	広葉樹	0.303	62	0.659	27
中讃東	北谷	広葉樹	0.303	59	0.625	25
中讃西	聖通寺山	混合林	0.309	47	0.608	24
中讃西	大麻山山頂	混合林	0.309	73	0.721	31
中讃東	浅木原中腹	広葉樹	0.315	75	0.659	27
中讃西	萩ノ戸	混在地	0.345	81	0.764	34
中讃東	木綿織	混合林	0.345	82	0.690	29
中讃東	細井	混在地	0.370	83	0.736	32

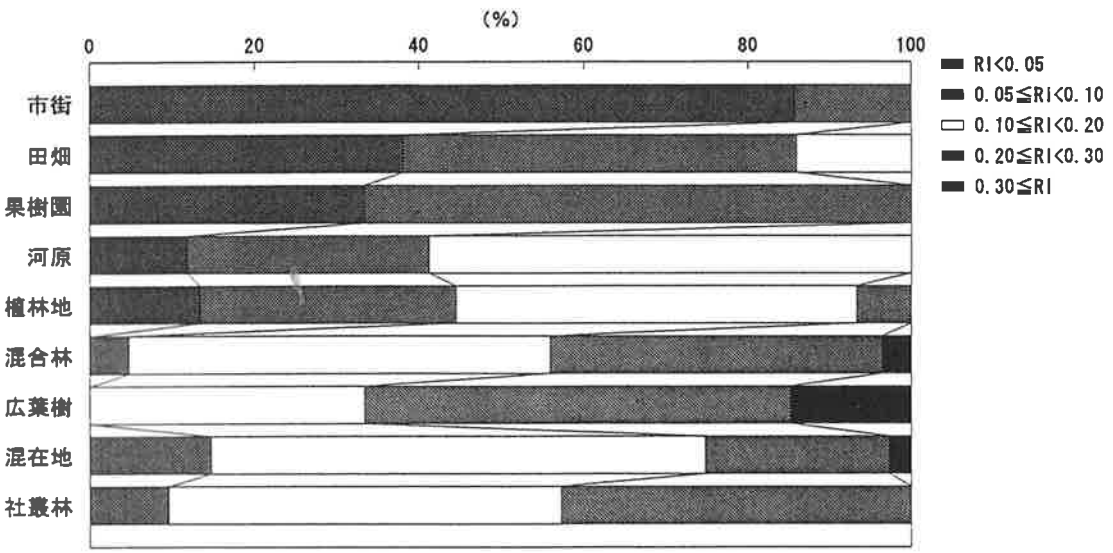


図3　環境別のRI指数の値の割合．

ウの種数は20，またRI指数は0.182であまり高い値ではなかった．これはその植物環境からヒョウモンチョウ類，アカタテハ，ルリタテハ，また多くのセセリチョウ科の種が記録されなかったからである．

このように本調査で選定した調査対象種のデータから求めたRI指数の値のみでは，環境に対する人的営力の影響を評価するには注意が必要であることがわかった．このことは香川県で唯一のブナ原生林の調査地点である中讃東部の大滝山山頂のRI指数が0.254で，同じ大滝山の混合林の調査地点である木綿繊のRI指数が0.345であったことからもいえる．

4．標高とRI指数

表5に，RI指数と調査地点の標高との相関係数(r)を環境別に示した．香川県全体では，相関係数は0.289となり，弱い正の相関が見られた．これは香川県の北部が瀬戸内沿岸の讃岐平野で，南部が阿讃山地であり，都市と農業地帯は標高の低い北部に発達していることを反映した値である．有意な正の相関が見られた環境は，市街，混在地，社叢林であった．特に市街では環境のばらつきが大きかったが（表4），標高が高くなるほどRI指数の値が大きくなることを示していた．

マツ，ヒノキなどの植林地の環境では，有意な負の相関が得られた．これは阿讃山地にある標高の高いヒノキなどの植林地では，樹木の管理が行き届いているため，チョウの生息を基準にしたRI指数が高くなるような環境ではないことを示している．一方，低山地ではマツ枯れの被害後，放置されたマツ林はコナラ・アベマキなどの広葉樹の若木が混在するようになり，比較的チョウの生息に適した環境になりつつある．このような環境の変化が相関係数に反映されたものといえる．

表5　環境別のRI指数と標高の相関

環境	調査地点数	相関係数（r）	r＝0の検定 t値	P
市街	14	0.613	2.690	0.020
田畑	50	0.112	0.779	0.440
果樹園	9	−0.181	0.486	0.642
河原	17	0.312	1.273	0.223
植林地	45	−0.483	3.620	0.001
混合林	86	−0.082	0.753	0.453
広葉樹	27	0.211	1.081	0.290
混在地	75	0.391	3.630	0.001
社叢林	21	0.537	2.773	0.012
全体	344	0.289	5.583	0.000

考　察

香川県における55種のチョウの生息調査を基にしたRI指数を求め，環境評価を試みた．ここではRI指数の環境評価指数としての有効性と妥当性について考察する．

RI指数の特徴として，第1に定量的な比率尺度（個体数）の代わりに順序尺度（個体数の相対的多少を示すランクデータ）を用いたことである．本調査は5年の調査期間があり，調査地点によって時期や時刻，調査ルー

表4　環境別のRI指数の平均値とSCHEFFÉ型の方法による多重比較．表中のマトリックスは多重比較による直接確率を示す

	市街	田畑	果樹園	河原	植林地	混合林	広葉樹	混在地	社叢林
地点数	14	50	9	17	45	86	27	75	21
平均値	0.019	0.064	0.065	0.106	0.121	0.191	0.228	0.160	0.189
C.V.(%)	116.5	50.1	33.0	37.3	47.3	26.2	23.6	37.3	33.4
最大値	0.073	0.152	0.097	0.158	0.255	0.345	0.315	0.370	0.285
最小値	0.000	0.018	0.024	0.036	0.018	0.073	0.145	0.067	0.067
市街	−	0.982	0.999	0.482	0.033	0.000	0.000	0.000	0.000
田畑		−	1.000	0.890	0.059	0.000	0.000	0.000	0.000
果樹園			−	0.993	0.820	0.002	0.000	0.119	0.031
河原				−	0.999	0.006	0.001	0.438	0.149
植林地					−	0.001	0.000	0.545	0.209
混合林						−	0.915	0.335	1.000
広葉樹							−	0.055	0.937
混在地								−	0.970

トの距離および気候条件が異なっていた．このようなさまざまな調査条件から得られた個体数データを，一定の基準条件に換算することは困難であったため，適当なランク基準を設けて順序尺度に変換し，調査条件のばらつきをマスクした．したがって，RI指数はデータの情報量は犠牲となるが，ラフなデータでも取り扱えるという使用上の便利さがあるといえる．

また順位変数を用いているため，RI指数算出の基礎となっているランクのデータを比較することによって，調査地点間の群集構造の相違をノンパラメトリックの手法で統計的に検定することができる．たとえば3つ以上の調査地点に対しては，そのデータの構造からFRIEDMANの分散分析法を用いて比較することができる．

第2にRI指数はその算出式の意味から，調査地の（種数）×（個体数）の値を相対的に表現している点である．すなわち，ある調査地における出現種数をsp，種あたりの平均ランク値をRとすると，RI指数は，相対出現種数（sp/S）×相対的な個体数の指標（R）の値を,ランクの階級値（M）で0から1の範囲に調整したものとなる．昆虫を指標として環境評価を行う場合，どのような種が，何種類ほど，どれくらいの数で生息しているかを指数として把握することが必要となる．この意味では，RI指数はそのうちの2つ（種数と個体数）を一つの値に反映させた指数であると考えられる．

ここでRI指数が，単純に相対出現種数と相対個体数の積であるという性質から来る限界性について述べる．その問題点は2点考えられている（中村，1994）．その一つは，出現種数が少なく個体数が多い調査地点と，その逆の地点とのRI指数が同じ値になる場合が起こることである．例えばS＝4，M＝4としたとき，もしすべての種について0から3までのランクの出現確率が等しいとすると，RI＝0.5となるランクの組み合わせは，(3,3,0,0) (3,2,1,0) (3,1,1,1) (2,2,2,0) (2,2,1,1) の5組あり，その出現比はそれぞれ順に3：12：2：2：3となる．RI指数はこれらの情報をすべて込みにして0.5の値で代表し，それぞれのデータが持っている群集内における個体数の相対的量についての均等性の相違を表現していない．このような傾向は，階級値幅Mを多くするほど顕著になるという性質を持っており，RI指数を使った環境評価を行う上で留意すべき重要な点である．

本調査のデータについて均等性が異なっているにも関わらず，RI指数が同じ値として表現しているケースがあるかどうかを，同一のRI値の調査地点数が多かった例について，0から3のランク値の頻度分布から検討した．RI＝0.139では9地点，RI＝0.146では18地点，RI＝0.152では11地点で同じ値となった．それらの頻度分布のχ^2検定では，有意差はみられなかったが（RI＝0.139：$\chi^2=23.8$，P＝0.472，RI＝0.146：$\chi^2=67.9$，P＝0.057，RI＝0.152：$\chi^2=20.4$，P＝0.907），各データから求めたランク値の平均出現比率から危険率5％で，はずれている調査地点が，RI＝0.146において3地点あった．具体的には，平均出現比率から求めた期待頻度が，0から順に39.6，8.2，5.8，1.4であるのに対して，(43,5,2,5) (35,16,4,0) (43,1,10,1) の調査ランクデータを有している調査地点で，このうち二つは河原の環境であった．このようにRI指数の性質上，環境評価の指数として使用した場合，ランクの頻度分布のチェックが必要となる．この点をどのように解決するかは，今後の重要な課題として残る．

もう一つの問題点は，環境評価のファクターとして必要な，どのような種が生息しているかという情報，すなわち種構成の識別ができない点である．例えば S＝4，M＝4，対象種を左から順にa，b，c，dとして，A調査地では (2,2,0,0)，Bでは (0,0,2,2) の調査データが得られたとする．RI指数はいずれも0.333となり，A地点の生息種a，bとB地点のc，dとの種構成の相違が反映されていない．

次に，上述した問題点と関連して，環境評価の手段としてチョウの生息調査のデータを基にしたRI指数を用いることについての妥当性について検討する．本研究で対象とした55種は，調査の便宜性やデータの汎用性に重点を置いて設定したものであったが，それでもこれらを基にしたRI指数によって香川県内の地理的環境や植生環境の判別が可能であることがわかった（表2，4）．また自然度とC_S係数との相関係数も高く，他の方法による評価との妥当性を満たしていた．しかし，環境評価においては何を評価基準にし，それをどのように反映させるかという問題は重要である．田中（1988）は環境評価の基準について「”評価”とは，自然環境に対して人類の営力が加えられた度合を判定すること」と定義している．一方，巣瀬（1993）は，フジミドリシジミなど希少種は生息しているが，その他の種が少ないブナの原生林を例にとって，チョウ類群集を指標として環境評価をすることの問題点を指摘している．この点は，本調査に

表6　チョウの種類別RI指数と評価値との比較

種　　名[1)]	RI指数	種自然度（豊嶋，1988）	種の指数（巣瀬，1993）	指評価（田中，1988）
セセリチョウ科　Hesperiidae				
ダイミョウセセリ　*Daimio tethys*	0.100	4	2	3
アオバセセリ　*Choaspes benjaminii*	0.019	4	3	3
ホソバセセリ　*Isoteinon lamprospilus*	0.065	3	2	3
キマダラセセリ　*Potanthus flavus*	0.065	2	2	1
コチャバネセセリ　*Thoressa varia*	0.036	3	2	3
チャバネセセリ　*Pelopidas mathias*	0.053	2	2	1
イチモンジセセリ　*Parnara guttata*	0.407	1	1	1
アゲハチョウ科　Papilionidae				
ジャコウアゲハ　*Byasa alcinous*	0.018	2	2	2
アオスジアゲハ　*Graphium sarpedon*	0.069	2	1	1
ナミアゲハ　*Papilio xuthus*	0.373	1	1	1
キアゲハ　*Papilio machaon*	0.086	2	2	1
クロアゲハ　*Papilio protenor*	0.246	2	3	1
オナガアゲハ　*Papilio macilentus*	0.025	4	—	2
ナガサキアゲハ　*Papilio memnon*	0.116	1	—	1
モンキアゲハ　*Papilio helenus*	0.082	2	3	2
カラスアゲハ　*Papilio bianor*	0.042	3	3	2
シロチョウ科　Pieridae				
キチョウ　*Eurema hecabe*	0.538	2	2	1
モンキチョウ　*Colias erate*	0.038	2	2	1
スジグロシロチョウ　*Pieris melete*	0.185	3	1	1
モンシロチョウ　*Pieris rapae*	0.339	1	1	2
シジミチョウ科　Lycaenidae				
トラフシジミ　*Rapala arata*	0.006	4	2	3
ムラサキシジミ　*Narathura japonica*	0.086	3	—	2
ベニシジミ　*Lycaena phlaeas*	0.293	1	1	1
ヤマトシジミ　*Zizeeria maha*	0.554	1	1	1
ルリシジミ　*Celastrina argiolus*	0.251	2	2	1
ツバメシジミ　*Everes argiades*	0.205	1	2	1
ウラナミシジミ　*Lampides boeticus*	0.136	1	1	1
ウラギンシジミチョウ科　Curetidae				
ウラギンシジミ　*Curetis acuta*	0.302	3	2	2
マダラチョウ科　Danaidae				
アサギマダラ　*Parantica sita*	0.003	4	—	2
テングチョウ科　Libytheidae				
テングチョウ　*Libythea celtis*	0.082	4	3	2
タテハチョウ科　Nymphalidae				
コムラサキ　*Apatura metis*	0.015	3	2	2
ゴマダラチョウ　*Hestina japonica*	0.058	3	2	3
スミナガシ　*Dichorragia nesimachus*	0.017	4	—	3
イシガケチョウ　*Cyrestis thyodamas*	0.040	3	—	3
イチモンジチョウ　*Ladoga camilla*	0.161	4	2	3
コミスジ　*Neptis sappho*	0.412	3	2	2
サカハチチョウ　*Araschnia burejana*	0.035	4	—	3
キタテハ　*Polygonia c-aureum*	0.089	2	2	1
アカタテハ　*Vanessa indica*	0.025	3	2	1
ヒメアカタテハ　*Cynthia cardui*	0.118	1	2	1
ルリタテハ　*Kaniska canace*	0.169	3	2	1
ウラギンヒョウモン　*Fabriciana adippe*	0.017	3	—	3
ウラギンスジヒョウモン　*Argyronome laodice*	0.026	2	—	3
ミドリヒョウモン　*Argynnis paphia*	0.094	3	2	4
クモガタヒョウモン　*Nephargynnis anadyomene*	0.028	3	—	4
メスグロヒョウモン　*Damore sagana*	0.063	3	—	4
ツマグロヒョウモン　*Argyreus hyperbius*	0.117	2	—	1
ジャノメチョウ科　Satyridae				
ヒメウラナミジャノメ　*Ypthima argus*	0.486	2	2	2
ヒメジャノメ　*Mycalesis gotama*	0.444	2	2	3
コジャノメ　*Mycalesis francisca*	0.126	3	2	3
ジャノメチョウ　*Minois dryas*	0.086	2	2	2
ヒカゲチョウ　*Lethe sicelis*	0.300	3	2	4
クロヒカゲ　*Lethe diana*	0.015	4	—	3
クロヒカゲモドキ　*Lethe marginalis*	0.032	4	—	4
サトキマダラヒカゲ　*Neope goschkevitschii*	0.160	3	2	3

1)：種名は平嶋（1989）によった．ただし，亜種名，命名者名，命名年は省略．

おける社叢林の個々の調査地点のRI指数が比較的低かったように（図3），人的営力が入っていない原生林のチョウのデータから求めたRI指数の値が，必ずしも他の環境より高くなるとは限らないといえる．

このような観点からみると，表3のRI指数と自然度との評価内容を比較した結果から，あらかじめ種に環境の評価値をもたせる方法の方が，環境の識別に調査者の評価基準を加味できるといえる．すなわちこの手法では，種に与えた評価値によって，RI指数では識別できなかった地域間の種構成の相違をある程度反映させていることになる．これはチョウ類のように生活史，生態あるいは地理的分布などが詳細に研究されている昆虫については，可能な評価法であるといえる．しかし，チョウ類を対象としても，設定基準や調査地域によって種の評価値が変わる可能性がある．

表6にチョウに関する3種の環境評価値，種自然度（豊嶋，1988），種の指数（巣瀬，1993）および指標価（田中，1988）を示した．全体的に与えられた評価値の傾向は似ているが，ダイミョウセセリ，スジグロシロチョウ，トラフシジミ，ヒカゲチョウなどでは異なった値を示している．これら3評価値を本調査のデータを基に求めたチョウの種別RI指数と比較した．これは，式(2)においてSを対象種55の代わりに調査地点数344に置き換え，R_iはその種のi番目の調査地のランクとして，種ごとにRI指数を求めたものである．この値は香川県下におけるチョウの生息数と分布の普遍度を，種別に表現したものと考えられる．このチョウの種別RI指数と評価値のSPEARMANの順位相関係数は，自然度とは−0.551（$P<0.001$），種の指数とは−0.485（$P=0.012$），指標価とは−0.401（$P=0.005$）であった．これは自然度が他の2つの評価値より，香川県におけるチョウの分布状況をよく反映していることを示している．

宮武（1992）はレッドデータブックにまとめられている絶滅危惧種や貴重種・重要種のみを重点にした環境アセスメントではなく，生態系全体を取り扱った種群集の調査を基にした環境評価の重要性を述べている．このような観点から見ると，RI指数は種群集における種数と個体数の豊富さを表現している．ただし，地域間の種構成が識別できないため，種が有している情報から得られる調査地点の環境条件は反映されない．したがって，RI指数の評価に識別性をもたせるためには，環境条件を反映させる下位評定尺度を用いる方法が考えられる．たとえば表3における下切と細井の調査地点の比較において，イチモンジセセリやモンシロチョウなど普通種を11種選定して，その種のみでRI指数を求め普通種下位尺度とすると，細井では0.556，下切では0.278であった．この値と対象55種全体のRI指数とを併せて評価すると，細井では全体のRI指数が0.370と最も高く，種数，個体数共に豊かなことを示しているが，普通種のウエイトが高いことがわかる．またツマグロヒョウモンを除くヒョウモンチョウ類5種を下位尺度とすると，細井では0.133，下切では0.333となり，2地点の環境の相違をよく示している．

RI指数に特定の種グループを選定する下位尺度を併用することによって，種に評価値をもたせる方法と同じように，評価の基準を明確にし，環境のより詳細な分析が可能になると考えられる．的確な環境評価を行うためには，どのような下位尺度を有効的に設定するかは，今後さらに多くのデータを分析して研究していくべき課題である．

引用文献

平嶋義宏（1989）日本産昆虫総目録Ⅱ．九州大学農学部昆虫学研究室．

稲泉三丸（1975）蝶類による自然度の判定．栃木の蝶：148−160．

石井　実・山田　恵・広渡俊哉・保田淑郎（1991）大阪府内の都市公園におけるチョウ類群集の多様性．環動昆　3：183−195．

伊藤嘉昭・法橋信彦・藤崎憲治（1980）動物の個体群と群集．東海大学出版会，東京．

香川県企画部統計調査課（1986）昭和61年刊行香川県統計年鑑．香川県企画部統計調査課・香川県統計協会．

木元新作・武田博清（1989）群集生態学入門．共立出版，東京．

MACARTHUR, R. H.（1955）Fluctuations of animal populations, and a measure of community stability. *Ecology* **36**：533−536.

三宅耕三・中村寛志（1989）秘書学隣接及び関連諸科目関心度の分析手法に関する試論．秘書学論集　7：81−91．

宮武頼夫（1992）昆虫相調査の手法と調査結果の検討について．環動昆　4：91−99．

森下正明（1967）京都近郊における蝶の季節分布．自然−

生態学研究－：95－132.

中村寛志（1987）短期大学における統計学・情報処理教育の試みとしての順序統計量に関するデータ処理の一方法. 瀬戸内短期大学紀要 **17**：65－70.

中村寛志（1994）RI指数による環境評価 (1) RI指数の性質と分布. 瀬戸内短期大学紀要 **24**：37－41.

桜谷保之・藤山静雄（1991）道路建設とチョウ類群集. 環動昆 **3**：15－23.

SIMPSON, E. H.（1949）Measurement of diversity. *Nature* **163**：688.

巣瀬 司（1993）蝶類群集研究の一方法.「日本産蝶類の衰亡と保護」第2集：83－90, 日本鱗翅学会・日本自然保護協会.

田中 蕃（1988）蝶による環境評価の一方法.「蝶類学の最近の進歩」日本鱗翅学会特別報告 第6号：527－566.

豊嶋 弘（1988）チョウ類の分布をもとにした香川県の自然度. 香川県自然環境保全指標策定調査研究報告書（自然度評価の総括）：87－108.

Jpn. J. Environ. Entomol. Zool. 7 (1) : 13−19 (1995)

Tunneling of Subterranean Termites, *Coptotermes gestroi* WASMANN and *Coptotermes formosanus* SHIRAKI, into Gravel Physical Barriers

Yupaporn SORNNUWAT[1)], Charunee VONGKALUANG[1)], Tsuyoshi YOSHIMURA[2)], Kunio TSUNODA[2)] and Munezoh TAKAHASHI[2)]

1) *Forest Products Research and Developmet Division, Royal Forest Department, Bangkok 10900, Thailand*
2) *Wood Research Institute, Kyoto University, Uji, Kyoto 611, Japan*

(Received : April 17, 1995 ; Accepted : May 2, 1995)

小石を利用したフィジカルバリアーへの地下シロアリ（*Coptotermens gestroi* WASMANN と *Coptotermes formosanus* SHIRAKI）の穿孔能力 Yupaporn SORNNUWAT[1)]・Charunee VONGKALUANG[1)]・吉村　剛[2)]・角田邦夫[2)]・高橋旨象[2)]（[1)] Forest Products Research and Development Division, Royal Forest Department, Thailand, [2)] 京都大学木質科学研究所）

タイおよび日本の代表的地下シロアリである *Coptotermes gestroi* と *Coptotermes formosanus* の小石を利用したフィジカルバリアーへの穿孔能力を室内試験で比較検討した．シロアリの穿孔を阻止できた小石の直径は *C. gestroi* に対しては1.4−2.4㎜，*C. formosanus* に対しては1.7−2.4㎜であった．タイにおける *C. gestroi* に対する野外試験では，小石の直径の範囲が1.4−1.7㎜と2.0−2.4㎜の場合に12ケ月間穿孔を阻止でき，室内試験結果を裏付けるものであった．室内と野外試験結果は実用の可能性を示唆するものであったが，実用化を企図する際には，施用方法，効果の持続性，経済性などを熟慮しなければならない．

Tunneling into gravel barriers was investigated in the laboratory using two economically important termite species, *Coptotermes gestroi* WASMANN from Thailand and *Coptotermes formosanus* SHIRAKI from Japan. Particles from 1.4 to 2.4 mm in diameter could prevent *C. gestroi* from tunneling and gravel particles of 1.7−2.4 mm were effective against *C. formosanus*. Additional field evaluation strongly supported the laboratory results for *C. gestroi*. Particles of 1.2−1.7 mm and 1.7−2.4 mm performed well after 12 months' testing. It seems worthwhile to discuss practical methods to use gravels, cost effectiveness, and related matters for future commercialization in both Thailand and Japan.

Key Words : Tunneling, Non-chemical treatment, gravel physical barrier, *Coptotermes gestroi, Coptotermes formosanus*

Introduction

Subterranean termites are most destructive pests of wooden constructions and cellulosic materials, and are found widely around the world, especially in tropical regions. Chemical prevention and control (soil and/or wood treatments) has been a practical method to protect wooden constructions from subterranean termite attack.

With the increased public concern about environmental hazards and effects on human health, some of the conventional termiticides have been recently banned all over the world. Althogh a few chemicals of low toxicity have been extensively evaluated and commercialized as alternative termiticides (CREFFIELD and HOWICK, 1984 ; TSUNODA and NISHIMOTO, 1985, 1986; MAULDIN *et al.*, 1987 ; LENZ *et al.*, 1988 ; 1990 ; SU and SCHEFFRAHN, 1990 ; TSUNODA, 1991 ; TSUNODA and TAKAHASHI, 1992), relatively heavy use of them is still warned against by environmentalists.

Subsequently, a non-chemical treatment (gravel physical barrier) was investigated in terms of its safety, cost effectiveness, and duration of performance. Early studies indicated that the relationship between particle size and termite body size was an important factor in controlling tunneling activity of subterranean termites (EBELING and PENCE, 1957). TAMASHIRO *et al.* (1987a) later proved that termites could never penetrate gravel barriers consisting of particular sizes of particles.

In our investigations, tunneling of two subterranean termites into gravel barriers were compared in laboratory tests. Field evaluation was also done for a Thai termite species for future consideration.

Materials and Methods

Preparation of the physical barrier substrate

Commercially available gravel, which is commonly used for decorative purpose with concrete, was taken as the physical barrier substrate. Gravel barriers of specified sizes were prepared by passing the material through copper wire sieves of 1.2, 1.4, 1.7, 2.0, and 2.4 mm in diameter.

Laboratory test

Termites

Externally undifferentiated larvae (workers) of two subterranean termite species were used. Those were an economically very important Thai species, *Coptotermes gestroi* WASMANN, and the most destructive Japanese species, *Coptotermes formosanus* SHIRAKI. Two hundred workers were introduced into each experimental unit together with 20 soldiers.

Tunneling test apparatus

Glass test units, which are designated in the Japan Wood Preserving Association Standard 13, were used to evaluate vertical tunneling by termites (Fig. 1). As shown in the figure, sandy soil (20 mesh pass) was used supplementarily to give test termites easy access to the test particles. A wood block of *Pinus*

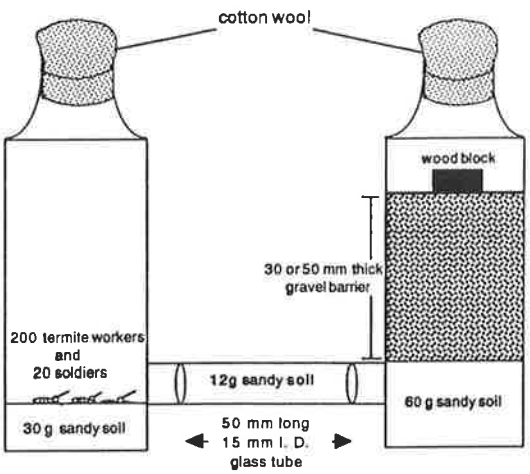


Fig. 1 Assembled test unit to evaluate vertical penetration by termites through gravel physical barriers.

densiflora SIEB. et ZUCC. (20 mm×20 mm×10 mm) was placed in one of the glass containers as a bait. In addition, horizontal penetration was investigated using similar units (Fig. 2).

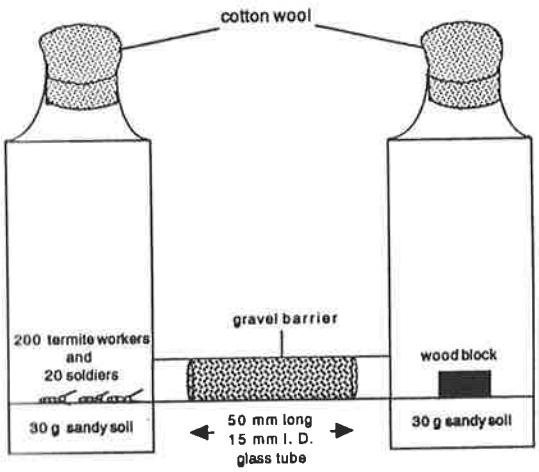


Fig. 2 Assembled test unit to evaluate horizontal penetration by termites through gravel physical barriers.

Gravel sizes

The particle sizes range were <1.2, 1.2−1.4, 1.4−1.7, 1.7−2.0, and 2.0−2.4 mm in diameter for *C. gestroi*, and 1.2−1.4, 1.4−1.7, 1.7−2.0 and 2.0−2.4 mm for *C. formosanus*, and a 20 mesh pass sandy soil was used as a control.

Incubation procedure

The assembled test units were kept at 28±2℃ under high relative humidity (>85%) for 4 weeks. At the end of the experiments, penetration depths were measured. The test was replicated three times for each termite species and gravel size combination.

Field test

Test site

Field test was done on the grounds of the Royal Forest Department, in Bangkok, Thailand. The field trials were begun in August, 1993. *C. qestroi* was expected to gain access to the field test units as the species was known as a common subterranean termite in the test area.

Field test apparatus

Experimental units consisted primarily of a PVC pipe (150 mm in diameter and 200 mm high) as shown in Fig. 3. Wood flakes were placed beneath the 20 mm thick soil and 50 mm thick test particles (20 mesh pass sandy soil for control) to form a bottom for the pipe.

A wood block of *Hevea blasiliensis* MUELL. ARG. measuring 25 mm× 50 mm × 100 mm was placed on the top of tunneling substrate as a bait.

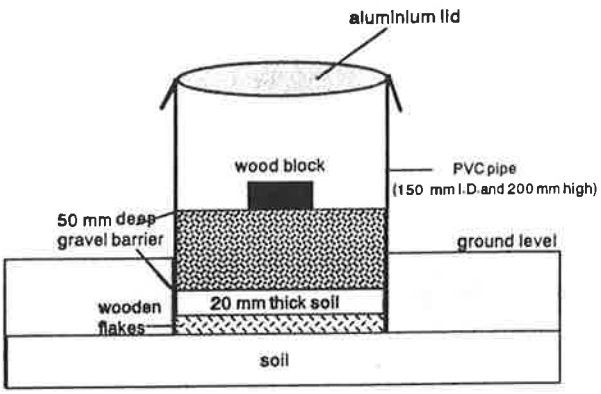


Fig. 3 Field experimental unit to evaluate termite penetration through gravel physical barriers.

Gravel sizes

The gravel sizes tested were 1.2−1.7 mm, 1.7−2.4 mm, and over 2.8 mm in diameter.

Evaluation of efficacy

Inspection was done 3, 6 and 12 months after the start of the tests.

Results and Discussion

***Effects of gravel barriers on the tunneling activity of* C. formosanus**

As shown in Table 1, *C. formosanus* was able to vertically penetrate through the gravel particels of 1.2-1.4 mm in the 30 mm thick barrier tests, although it took termites 2 days

Table 1 Effects of gravel particle sizes on tunneling activity of *Coptotermes formosanus*

particle sizes (mm)	vertical tunneling		horizontal tunneling
	penetration length (mm)[1] 30 mm thick barrier	50 mm thick barrier	penetration length (mm)[1] 50 mm long barrier
1.2 − 1.4	30[2] (100)	45 (90)	50[2] (100)
1.4 − 1.7	5 (17)	0 (0)	50[3] (100)
1.7 − 2.0	0 (0)	2.5 (5)	35 (70)
2.0 − 2.4	0 (0)	0 (0)	25 (50)
Control (20 mesh-pass sandy soil)	30[4] (100)	50[4] (100)	50[4] (100)

[1] % penetration through gravel physical barrier in the brackets.
[2] 100% penetration within 3 days.
[3] 100% penetration within 7 days.
[4] 100% penetration within 1 day.

longer to attack a pine wood block in comparison with sandy soil control.

Similarly, termites were able to gain access to a pine wood block in the 50 mm thick barriers with 1.2−1.4 mm particles. Larger particles tended to prevent tunneling, and the termites could not penetrate gravel particles in the 1.4−2.4 mm range. The largest size, 2.0−2.4 mm particles thoroughly stopped the tunneling by termites, regardless of barrier thickness. This agreed with the earlier results (TAMASHIRO *et al.*, 1987 b)

On the other hand, the test termites were able to bore into any size of the gravels tested to some extent in our holizontal tunneling test. Full penetraion was observed in the particle sizes of 1.2−1.4 and 1.4−1.7 mm and a wood block was attacked by termites within 3−7 days, while larger particle sizes of 1.7−2.0 mm and 2.0−2.4 performed better in depressing tunneling activity of *C. formosanus*.

***Effects of gravel barriers on tunneling activity of* C. gestroi**

Vertical tunneling ability of *C. gestroi* was similar to that of *C. formosanus*, as shown in Table 2. The termite species could not penetrate gravel barriers in the 1.2 to 2.4 mm range in both 30 mm and 50 mm thick barrier tests.

In the horizontal tunneling test, *C. gestroi* succeeded in excavating through the gravel barriers of the smallest particles of <1.2 mm, and reached the pine wood block within one day. Bigger particles were definitely of great advantage to the prevention of horizontal tunneling by the test termites.

No conspicuous difference in vertical tunneling activity was noticed between the two tested *Coptotermes* species (Tables 1 and 2).

However, *C. formosanus* was more aggressive than the other in holizontal tunneling in the gravel barriers of smaller particles. Since gravel particle sizes ranging from 1.2 to 2.4 mm did not permit *C. gestroi* to penetrate, the small body size of the termite species (average maximum head width : 1.2 mm) might partly account for this difference. As pointed out before, the individual spencific particle sizes were too large to be moved or carried away by the specific termites species (TAMASHIRO *et al.*, 1987 b ; FRENCH, 1989 ; SU *et al.*, 1991). In addition, morphological or physiological characteristics of different termite species (SU *et al.*,

Table 2 Effects of gravel particle sizes on tunneling activity of *Coptotermes gestroi*

particle sizes (mm)	vertical tunneling		horizontal tunneling
	penetration length (mm)[1]		penetration length (mm)[1]
	30 mm thick barrier	50 mm thick barrier	50 mm long barrier
<1.2	30[2] (100)	50[2] (100)	50[2] (100)
1.2－1.4	0 (0)	0 (0)	13.3 (27)
1.4－1.7	0 (0)	0 (0)	6.7 (13)
1.7－2.0	0 (0)	2.5 (5)	1.7 (3)
2.0－2.4	0 (0)	0 (0)	3.3 (7)
Control (20 mesh-pass sandy soil)	30[2] (100)	50[2] (100)	50[2] (100)

[1] % penetration through gravel physical barrier in the brackets.
[2] 100% penetration within 1 day.

1991, 1992) might be important causes of the variation of tunneling activity.

Careful observation showed that both termite species could build passages only along the gaps between packed particles and the upper sides of the glass tubes, as the gap provided footing for excavation for the termites. Thus, the packing conditions of particles in the glass tubes seemed to influence the results.

Field evaluation of gravel barriers

Field trials well demonstrated that gravel sizes of 1.2－1.7 mm and 1.7－2.4 mm were effective in preventing excavation by the subterranean termite *C. gestroi* because no termite attack on a wood block was recorded after 12 months' test (Table 3).

On the othen hand, gravels of a size (>2.8 mm) failed in stopping tunneling of *C. gestroi* though the barrier as a wood block was attacked by termites soon after the test started. This suggested that oversized gravel particles (>2.8 mm in diameter) were so big that the particles could not pack well but formed big cavities between particles for termites to walk or penetrate through. To measure duration of efficacy of gravel barriers, yearly examination will be done.

Although non-chemical barriers have been proposed some years before in a few countries (TAMASHIRO *et al.*, 1987a, 1991 ; FRENCH, 1989 ; F

Table 3 Efficacy of gravel physical barrier on excavation by Thai subterranean termite, *Coptotermes gestroi* in the field

particle sizes (mm)	Efficacy evaluation		
	3 months	6 months	12 months
1.2－1.7	Not attacked	Not attacked	Not attacked
1.7－2.4	Not attacked	Not attacked	Not attacked
>2.8	Attacked		
Control (20 mesh-pass sandy soil)	Wood block was attacked by termites within 2 weeks		

RENCH *et al.*, 1993 ; SU *et al.*, 1991 ; SU and S CHEFFRAHN, 1992 ; LENZ and RUNKO, 1993), the gravel barrier method is not well established in any country and still a new idea to both Japan and Thailand.

Considering the impact on the environment of chemical treatment, stability of performance, and other factors, it seems worthwhile to examine nonchemical protection of wooden and cellulosic materials from termite attacks.

Conclusions

The following conclusions were drawn from these investigations:

1. Used of Thai gravel barriers could protect wood blocks from attacks of both *C. formosanus* and *C. gestroi* in laboratory tests.
2. Gravel sizes of 1.7−2.4 mm in diameter are effective against *C. formosanus*.
3. Particle sizes ranging 1.2−2.4 mm are effective against *C. gestroi* in both laboratory and field tests.
4. Gravel barriers are promising as an alternative control measure to suppress tunneling by subterranean termites, *C. formosanus* and *C. gestroi*.
5. Practical application technique and economic merits should be carefully discussed for the future commercialization.

References

CREFFIELD, J. W. and C. D. HOWICK (1984) Comparison of permethrin and fenvalerate as termiticides and their significance to Australian quarantine regulatiuon. *IRG Doc*. No. IRG/WP/1230.

EBELING, W. and R. J. PENCE (1957) Relation of particle size to the penetration of subterranean termites through barriers of sand or cinders. *J. Econ. Entomol.* **50** : 690−692.

FRENCH, J. R. J. (1989) The case for non-chemical termite barriers in termite control? *IRG Doc*, No. IRG/WP/1381.

FRENCH, J. R. J., B. AHMED and A. TRAJSTMAN (1993) Laboratory and field evaluation of granite aggregate as a physical barrier against subterranean termites of the *Coptotermes* spp. (in prep.)

LENZ, M., J. A. L. WATSON and R. A. BARRETT (1988) Australian efficacy date for chemicals used in soil barriers against subterranean termites. Div. of Entomology Tech. Paper No. 27 (CSIRO, Australia).

LENZ, M., J. A. L. WATOSON, R. A. BARRETT and S. RUNKO (1990) The effectiveness of insecticidal soil barriers against subterranean termites in Australia. *Sociobiology* **17** : 9−36.

LENZ, M. and S. RUNKO (1993) Protection of buildings, other structures and materials in ground contact from attack by subterranean termites with a physical barrier-fine mesh of high grade stainless steel. *IRG Doc*, No. IRG/WP/10014.

MAULDIN, J. K., S. C. JONES and R. H. BEAL (1987) Soil termiticides: A review of efficacy data from field tests. *IRG Doc*. No. IRG/WP/1323.

SU, N.- Y. and R. H. SCHEFFRAHN (1990) Comparison of eleven soil termiticides against the Formosan subterranean termite and eastern subterranean termite (Isoptera: Rhinotermitidae). *J. Econ. Entomol.* **83** : 1918−1924.

SU, N.- Y., R. H. SCHEFFRAHN and P. M. BAN (1991) Uniform size particle barrier ; A physical exclusion device against subterranean termites (Isoptera : Rhinotermitidae). *J. Econ. Entomol.* **84** : 912−916.

SU, N.- Y. and R. H. SCHEFFRAHN (1992) Penetration of sized-particle barriers by field populations of subterranean termites (Isoptera : Rhinotermitidae). *J. Econ. Entomol.* **85** : 2275−2278.

TSUNODA, K. and K. NISHIMOTO (1985) Laboratory evaluation of organophosphates as termiticides. *IRG Doc.* No. IRG/WP/3330.

TSUNODA, K. and K. NISHIMOTO (1986) Japan standardized methods for testing effectiveness of chemicals against termite attack. *IRG Doc.* No. IRG/WP/1290.

TSUNODA, K. (1991) Termite bioassays for evaluation of (wood preservatives. *Sociobiology.* **19** : 245−255.

TSUNODA, K. and M. TAKAHASHI (1992) Termiticidal efficacy of synthetic pyrethroids (1) Laboratory evaluation of cyhalothrin and lamda-cyhalothrin as termiticides. *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.* **4** : 173−179.

TAMASHIRO, M., J. R. YATES and R. H. EBESU (1987a) The Formosan subterranean termite in Hawaii : problems and control. In *"Biology and Control of the Formosan Subterranean Termite : Proceedings 67th Meeting of the Pacific Branch, Entomol. Soc. Am., 1985 ; Honolulu, Hawaii. Res. Extension Series 032"* TAMASHIRO, M. and N. Y. SU, eds), College of Tropical Agriculture and Human Resources, Univ. of Hawaii. p. 15−22.

TAMASHIRO, M., J. R. YATES, R. H. EBESU andR. T. YAMAMOTO (1987b) The Formosan termite : Hawaii's most damaging insect. *Hawaii Architect.* **16** : 12−14, 40.

TAMASHIRO, M., J. R. YATES, R. T. YAMAMOTO and R. H. EBESU (1991) Tunneling behavior of the Formosan subterranean termite and basalt barriers. *Sociobiology* **19** : 163−170.

短　報

ゴキブリ食毒剤に対するマイクロカプセル剤の付着効果

原田裕行[1)]・辻　英明[2)]

1）アペックス株式会社

2）環境生物研究会

Effect of Encapsulated Microgranule Insecticide Formulations Applied to the Surface of Hydramethylnon Baits on the German Cockroach, *Blattella germanica* (LINNÉ). Hiroyuki HARADA[1)] and Hideakira TSUJI[2)](1) Apex Co., Ltd., 1-9, 1-chome, Sakaemachi-dori, Chuo-ku, Kobe 650, Japan ; 2) KSK Institute for Environmental Biology, F-409, 2-1, Nishino-Rikyu-cho, Yamashina-ku, Kyoto 607, Japan). *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.* 7 : 20－22 (1995)

When cockroaches were exposed to a choice test with hydramethylnon tablet or gell baits coated with fenitrothion MC or diazinon MC, quicker killing was observed in the insects fed on the baits. The coating gave no learned repellency to cockroaches, showing quicker 100% mortality also. The effect of the coating was maintained as long as for 4 months at 25℃. Hydramethylnon is persistently effective without the MC granules on the surface of the baits, so the coated baits will have both the quick and persistent efficacy against German cockroaches under practical conditions of high cockroach populations.

Key Words : Encapsulated microgranule, Hydramethylnon bait, Fenitrothion MC, Diazinon MC, Permethrin ULV, German cockroach

ゴキブリを防除する手段として，ほう酸やヒドラメチルノンを有効成分とする食毒剤は半年以上有効であり，最近よく利用されている．これらの食毒剤は，通常の殺虫剤散布にくらべて速効性に乏しく，ゴキブリ個体群に死亡効果が現われるのに日数が必要である．

一方，速効性を増すために，ほう酸含有食毒剤に他の殺虫剤を加えると，かえってゴキブリの100%死亡を遅らせることが知られ（TSUJI and ONO, 1969），ヒドラメチルノン食毒剤に他の散布殺虫剤がかかることも好ましくないとされている．われわれは，ヒドラメチルノン食毒剤の上に他の殺虫剤を散布付着させた状態を想定した試験を行い，マイクロカプセル剤の場合にはむしろ好ましい効果が得られたので報告する．

環動昆　第7巻　第1号：20－22（1995）
受領：1995年1月9日；受理：1995年2月15日

材料と方法

食毒剤は，ヒドラメチルノンを2％含有する市販のゴキブリ防除用の錠剤（マックスフォース，The Clorax Company）と，同じくヒドラメチルノンを1.8％含有する市販のアリ防除用のジェル剤（アリ用マックスフォース・ジェル，The Clorax Company）を用いた．食毒剤に付着させる薬剤としては，市販のペルメトリン5％ULV水性乳剤（ＵＬＶ用エクスミン水性乳剤，三共株式会社），マイクロカプセル剤として，フェニトロチオン20％ＭＣ剤（金鳥ゴキブリ用スミチオンＭＣ，大日本除虫菊株式会社）およびダイアジノン25％ＭＣ剤（中外製薬株式会社）で，いずれも20倍に水で希釈したものに食毒剤を数秒間浸してから1時間以上乾燥させて用いた．

試験には，長経19㎝，短経11.5㎝，高さ14㎝のプラスチック製容器を用いた．これにベニヤ板製のゴキブリ隠れ場所，無毒の餌として直径5㎝のシャーレ一杯のリス用ペットフード（まんま，ハイペット株式会社）および飲み水を入れた．錠剤の食毒剤はカバーをはずしてフィルムケースの蓋に1錠入れたもの，ジェル剤の場合もフィルムケースの蓋に注入したものを用いた．試験昆虫はチャバネゴキブリの成虫である．

結果と考察

フィルムケースの蓋にジェル剤にフェニトロチオンのマイクロカプセル剤や，ペルメトリンのＵＬＶ水性乳剤を付着させた場合の結果を図1に示す．

太い線が他剤を付着させた場合の累積ノックダウン率，細い線は付着させない場合である．結果をみると，ペルメトリン乳剤の方は後半に効果が逆転する傾向があったが，フェニトロチオンのマイクロカプセルを付着したものは，初めから終わりまで速効的であった．ノックダウンしたゴキブリは，すべてその後1～3日で死亡した．

次に，ゴキブリ防除用のヒドラメチルノン錠剤にフェニトロチオンのマイクロカプセル剤を付着させ，雌成虫に対する効果を観察した結果を図2Ａに示す．付着させない場合と比べ，付着区は3日以上速効的になり，ゴキブリの100%死亡も早くなっている．

ゴキブリ防除用のヒドラメチルノン錠剤にダイアジノンのマイクロカプセル剤を付着させ，雄成虫に対する効果を観察した結果を図2Ｂに示す．付着させない場合に

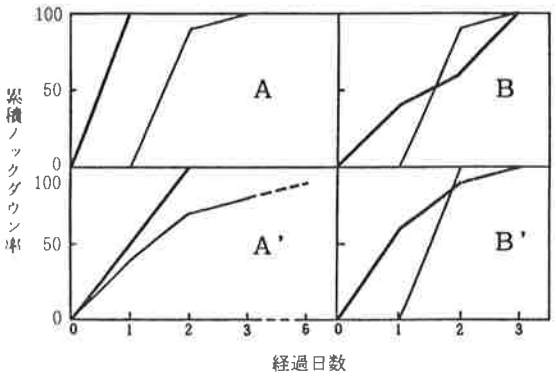


図1　ヒドラメチルノン含有ジェル剤表面に他の殺虫剤が付着した場合のチャバネゴキブリに対する効果への影響。AA'：フェニトロチオンMC剤付着処理の影響（AとA'は別日時試験）；BB'：ペルメトリンULV用水性乳剤付着処理の影響（BとB'は別日時試験）．太線：殺虫剤の付着したヒドラメチルノン含有ジェル剤；細線：殺虫剤未付着のヒドロメチルノン含有ジェル剤；各容器：雄雌成虫各5頭混合群，計10頭の累積結果；試験温度：26～30℃.

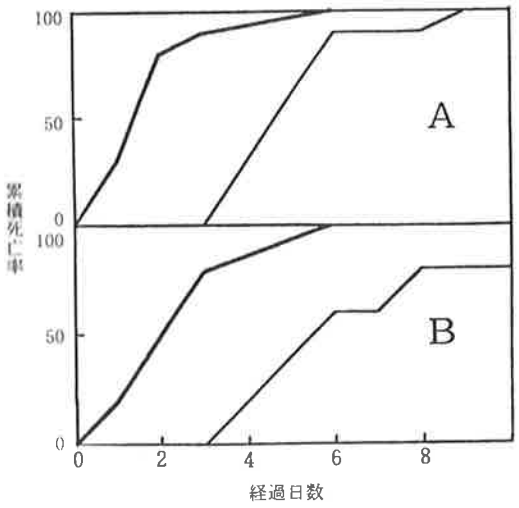


図2　ヒドラメチルノン含有錠剤表面に付着したマイクロカプセル剤の影響．A：フェニトロチオンMC剤付着処理の影響（チャバネゴキブリ雌成虫）；B：ダイアジノンMC剤付着処理の影響（チャバネゴキブリ雄成虫）．太線：MC剤の付着したヒドラメチルノン含有錠剤；細線：MC剤未付着のヒドラメチルノン含有錠剤；各容器：成虫10頭の累積結果；試験温度：22～25℃

比べて，やはり3日以上速効的になり，ゴキブリの100%死亡も早かった．

同様の結果は雌雄とマイクロカプセル剤の組み合わせを逆にした別追試験でも得られ，マイクロカプセル剤は

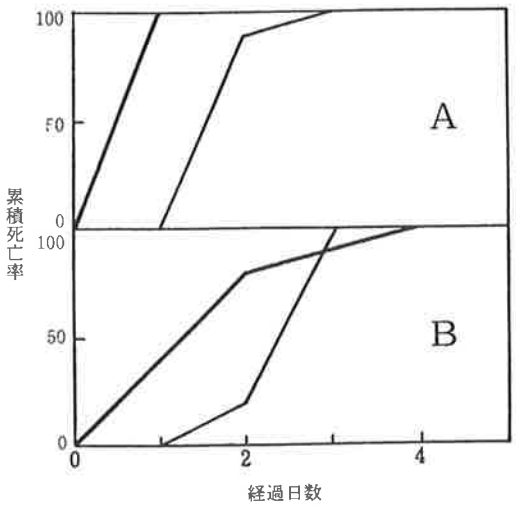


図3　フェニトロチオンMC剤付着後4カ月室温で経過したジェル剤と，付着させない新ジェル剤との，チャバネゴキブリに対する効果比較．A：チャバネゴキブリ雄成虫の結果；B：チャバネゴキブリ雌成虫の結果．太線：MC剤の付着後4カ月間室温で経過したジェル剤；細線：MC剤未付着の新しいジェル剤；各容器：成虫10頭の累積結果；4カ月経過中の室温：15～32℃；試験温度：24～31℃.

食毒剤に付着させても悪い影響が少ないまま速効性を与えることができたので，付着した後に日時が経過した場合どうなるか予備検討を行なった．

すなわち，フェニトロチオンのマイクロカプセル剤を付着させた後25℃条件下で4カ月経ったジェル剤と，新しく注入したジェル剤の雄成虫に対する効果とを比較した結果を図3Aに示す．マイクロカプセル剤が付着してから古くなったジェル剤は，付着しない新鮮なジェル剤より依然として速効的であった．

同様の試験の雌成虫に対する結果を図3Bに示す．この場合，最後にやや遅れを示したが誤差の範囲であり，大局的にマイクロカプセル剤が付着してから古くなったジェル剤の方が，付着せずに新鮮なジェル剤より速効的であった．

以上のように，マイクロカプセル剤が食毒剤に付着させても悪い影響が少ないまま速効性を与えることができたのは，ヒドラメチルノンの殺虫効果が現われる前にマイクロカプセル剤の効果が発揮され，しかもマイクロカプセル剤が食毒剤のゴキブリに対する誘引性と摂食促進性を妨げなかったためと考えられる．

食毒剤の表面に付着したマイクロカプセル剤は，施用直後の食毒剤に速効性を与えたいという要求に応ずることができる．その後の持続効果は，表面のマイクロカプ

セル剤が消耗した後でも，内部のほう酸やヒドラメチルノンなどの持続性殺虫成分により発揮されよう．

マイクロカプセル剤の表面付着は，食毒剤全体に混合するよりも経済的であり，ゴキブリ防除を急速にする点で実用性が高いと思われる．

引用文献

TSUJI H. and S. ONO (1969) *Jpn. J. Sanit. Zoology*. 20：240－247.

短　報

オガサワラゴキブリ *Pycnoscelus surinamensis* (LINNÉ) の耐寒性

原田裕行[1)]・辻　英明[2)]

1）アペックス株式会社

2）環境生物研究会

Effect of a Chilling Temperature on the Surinam Cockroach, *Pycnoscelus surinamensis* (LINNÉ). Hiroyuki HARADA[1)] and Hideakira TSUJI[2)] ([1)] Apex Co., Ltd., 1-9, 1-chome, Sakaemachi-dori, Chuo-ku, Kobe 650, Japan; [2)] KSK Institute for Environmental Biology, F-409, 2-1, Nishino-Rikyu-cho, Yamashina-ku, Kyoto 607, Japan). *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.* 7：22－24 (1995)

Nymphs and adults overwintered in an unheated room where the lowest air temperature was higher than 11.5℃ in 1992－1993 and 1993－1994 winters. No diapause-like retardation of development was observed at any larval or adult stage in the overwintering populations. When reared at 25℃ then chilled at 4-6℃, adults and small-size nymphs died within 15 days and middle- or large-size nymphs within 19 days. When reared in the unheated room then moved into the 4-6℃ refrigerator in winter, all adults, small nymphs, and middle- or large-size nymphs died within 19, 34, and 50 days, respectively. This tropical species does not seem to tolerate three month of winter in Central Japan. However, the species may occur in some facilities where the winter temperature does not fall below 11.5℃.

Key Words：Surinam cockroach, Kyoto cockroach, Chilling temperature

環動昆　第7巻　第1号：22－24 (1995)
受領：1995年2月2日；受理：1995年2月28日

オガサワラゴキブリは昼間は土の中や堆積物の下に潜み，夜間出歩くゴキブリで，熱帯ないし亜熱帯性昆虫である．1992年，アペックス社は本州中部において，ビルディング内の観葉植物の鉢植えに発生している個体群の防除を依頼され実行した．

念のため若干を生け捕り飼育したところ，冬の気温が11℃以下にならない室内で，2度の冬を越えて飼育ができた．そこで，さらに低温の4～6℃での冷蔵実験を成虫と幼虫について行い，耐寒性の程度を調査したので報告する．

なお，オガサワラゴキブリには2系統が知られているが（ROTH, 1967；朝比奈，1991），今回の個体群には雄個体が極めてまれであり，雌成虫の単眼点が複眼にほぼ接し，同じく雌成虫の翅端が腹端を越える場合もあることから，一応*Pycnoscelus surinamensis*の学名を当てはめた．

材料と方法

通常の飼育には20cm×13cm×高さ13.5cmのプラスチック容器の底に腐葉土を混合した培土を約4cmの厚さに入れ，ゴキブリを放し自由に生育繁殖させた．ゴキブリの餌としてマウス用の固型飼料を適宜与え，水も常時供給した．

ゴキブリを冷蔵するには，大型個体は1頭ずつ，小型個体は数頭ずつガラスビン（直径2cm，高さ5cm）に入れ綿栓した．これらをまとめて小型容器に入れ，空気湿度を保つため，それをさらに水の入った大型容器の中に入れ，冷蔵庫内で4～6℃に保った．

オガサワラゴキブリの他，対比昆虫としてキョウトゴキブリ幼虫も同様な条件で冷蔵した．冷蔵個体は数日毎に観察し，死亡個体を除去した．その際，触角や脚の先など少しでも動かす個体は生存として冷蔵を続行した．

結果と考察

1．飼育成虫の性比

雄成虫はほとんど見られなかった．一時点で2個の飼育容器内の成虫をすべて調査したところ，一つの容器内

では成虫50頭のうち雄は1頭のみであり，もう一つの容器内では成虫33頭の中に雄はいなかった．すなわち，調査した83頭のうち1頭だけが雄で，その割合は1.2%だった．冷蔵実験の際も雄成虫はみられず，用いた成虫はすべて雌成虫であった．冷蔵幼虫もほとんどすべてが雌とみられる．

2．25℃飼育個体の冷蔵結果

25℃条件下で飼育中の個体を直接冷蔵庫に移した場合の結果を図1に示す．横帯の太さが生存率を表し，各群ごとに100%生存から全滅までを示した．この場合，成虫と小型幼虫は15日以内に，中～大型幼虫は19日以内に全滅した．

3．冬季無加温飼育個体の冷蔵結果

暖房のない室内で飼育し，冬になって11.5～12℃条件下から冷蔵庫に移した結果を図2に示す．成虫は19日以内に，小型幼虫は34日以内に，中～大型幼虫は50日以内に全滅した．

対比データとして，同じ条件で冷蔵庫に移された小型および大型よりなる2群のキョウトゴキブリ幼虫は，134日間の冷蔵後も100%生存し，夏の室温に戻された後も正常に発育を再開した．

4．飼育個体の発育段階構成

暖房のない室内で連続飼育中の個体群をサンプリングし，70%アルコールに投入した後，頭幅を測定した結果を図3に示す．ただし，1994年のサンプリング個体のみ，冷蔵実験に用いた後，死亡個体を70%アルコール中に保

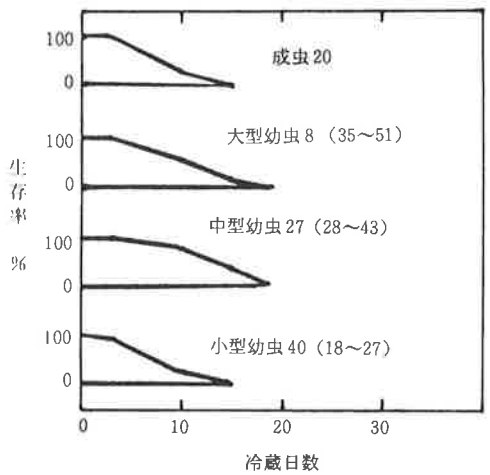


図1　25℃で飼育したオガサワラゴキブリの4～6℃冷蔵結果．横帯の太さが生存率を示す（100%→0%）．成虫・幼虫に続く数字は試験個体数．カッコ内の数字は幼虫のサイズ（頭幅レンジ：20倍mm）．

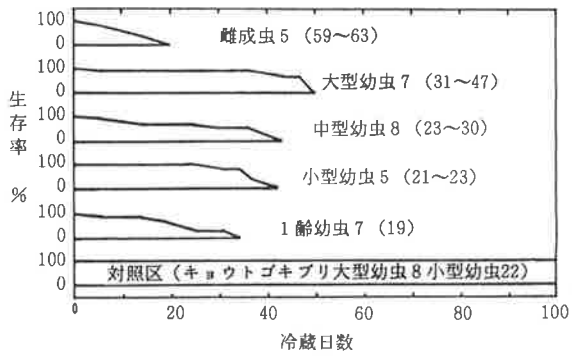


図2　冬季無加温で飼育したオガサワラゴキブリの4～6℃冷蔵結果．横帯の太さが生存率を示す（100%→0%）．成虫・幼虫に続く数字は試験個体数．カッコ内の数字は成虫・幼虫のサイズ（頭幅レンジ：20倍mm）．1994年1月14日サンプリング個体を冷蔵（図3参照）．

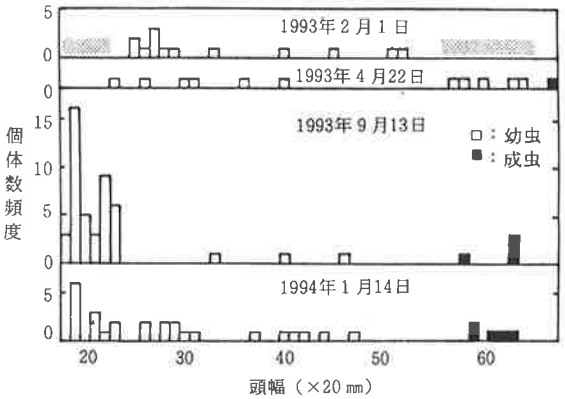


図3　無加温飼育したオガサワラゴキブリの頭幅分布の季節変化．1993年2月1日には成虫と若齢幼虫はサンプリングされていないが，飼育容器中にはかなり目撃されたので，ドット帯で示した．

存した後で測定した．横軸は頭の幅，縦軸は個体数である．

1993年の2月初旬のサンプリングは，ゴキブリが潜っている土をひとすくいしただけだったので，成虫がサンプリングされていないが，実際は容器中に成虫および小型幼虫が目撃された．すなわち，暖かい時期の個体群も，越冬中の個体群も成虫と幼虫を含み，幼虫も冬の間に特定の齢期に限定される傾向はなかった．

以上のように，4～6℃で50日以上生存できないオガサワラゴキブリは，本州中部の冬の3ヵ月を屋外で越えることは不可能といえよう．しかし，気温が11.5℃以下にならない室内で越冬できた事実からみて，屋内に植物と共に持ち込まれた本種が，防除を必要とするほど発

生することは今後も起こるものと考えられる．また，越冬の前に特定のステージに発育を揃えるような，いわゆる越冬休眠の現象はないと言える．

なお，今回の結果とTSUJI and MIZUNO（1973）によるクロゴキブリ，ヤマトゴキブリ，ワモンゴキブリ，チャバネゴキブリの冷蔵実験の結果とは，両実験の冷蔵後の生死判定方法が異なるので，直接比較はできない．しかし，オガサワラゴキブリの寒さに対する弱さは，ワモンゴキブリやチャバネゴキブリに近いものである．

引用文献

朝比奈正二郎（1991）日本産ゴキブリ類．253 pp．中山書店，東京．

ROTH, L. M.（1967） *Ann. Ent. Soc. Amer.* **60**：774－779.

TSUJI, H. and T. MIZUNO（1973） *Jpn. J. Sanit. Zool.* **23**：187－194.

短　報

ドライフラワーに発生したチャマダラメイガについて

那須義次[1)]・田中　寛[2)]

1）大阪府病害虫防除所

2）大阪府立農林技術センター

Notes on the Tobacco Moth, *Ephestia elutella* (HÜBNER), (Lepidoptera, Pyralidae), Injurious to Dried Flowers. **Yoshitsugu NASU[1)] and Hiroshi TANAKA[2)] ([1)] Osaka Plant protection Office, Shakudo 442, Habikino, Osaka 583, Japan ; [2)] Osaka Prefectural Agricultural and Forestry Research Center, Shakudo 442, Habikino, Osaka 583, Japan)** *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.* 7：24－26 (1995)

Ephestia elutella (HÜBNER) was obtained from larvae feeding on dried flowers (lavender, rose) imported from Europe in 1994. The moth, immature stages, and damaged flower are illustrated. The biology is briefly summarized.

Key Words：Tobacco moth, *Ephestia elutella* (HÜBNER), Pyralidae, Pest insect of dried flowers, Biology

最近，筆者らは輸入ドライフラワーを加害しているメイガ科の幼虫を調査する機会があり，羽化した成虫を京都府立大学の吉安　裕博士に同定していただいたところ，チャマダラメイガTobacco moth, *Ephestia elutella* (HÜBNER) であることが判明した．

環動昆　第7巻　第1号：24－26（1995）
受領：1995年1月26日；受理：1995年3月29日

本種は貯蔵葉タバコや乾燥食品等の害虫として知られており，全世界の温暖な地域に分布している（HEINRICH, 1956；井上，1982）．しかし，わが国では，貯蔵葉タバコで発生し，一般家屋，製粉工場や穀類貯蔵所から発見されることはほとんどなかった（吉田ら，1989）．

近年，わが国でもライフスタイルの変化にともないドライフラワーの利用が一般家庭でも増え，今回のように本種が一般家屋内に持ち込まれ，さらに家庭内の乾燥食品にも発生する可能性がでてきた．本報告において，本種の成虫，幼虫，蛹および被害を図示するとともに，生態に関する知見を紹介し，今後の参考に供したい．

発生および被害状況

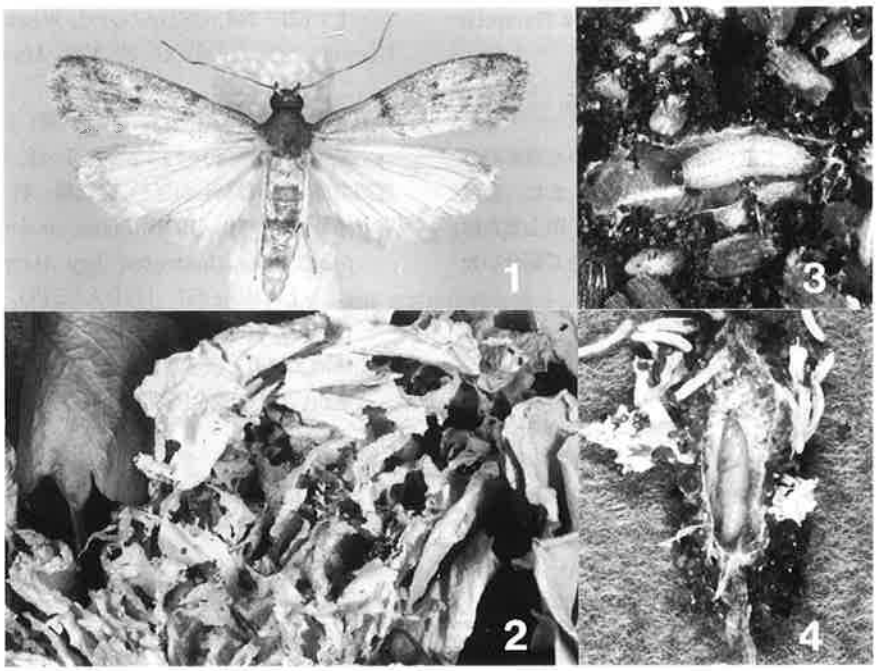
1994年9月29日，ドライフラワー（ラベンダー，バラに虫が発生していると連絡があり，調査したところ，本種の幼虫によってラベンダーの花弁は綴られ，バラの花弁はぼろぼろの状態に食害されていた（Fig. 2）．

このドライフラワーは，1994年6月にヨーロッパから輸入されたもので，このうちラベンダーは特殊な製法で半乾燥状態に保たれていた．8月末まで大阪市内の倉庫に保管され，9月から市販された．10月には購入先の一般家庭においても本種の成虫が羽化したことを確認した．

得られた幼虫を室内で飼育したところ，飼育容器内の壁を真っ白にするほど多量の糸を吐いて，ドライフラワーを綴り合わせた．虫糞やドライフラワーを糸で綴って繭をつくり，その中で蛹化した（Fig. 4）．羽化は10月3日から11月10日まで続いた．一部の幼虫は蛹化せず，幼虫態で越冬した．発生状況から推察して，本種はすでにヨーロッパで寄生していた可能性が高いと考えられる．

形　態

1．成虫（Fig. 1）



Figs. 1−4　*Ephestia elutella* (HÜBNER). 1, Male adult; 2, Dried flower (rose) injured by larvae; 3, Mature larva; 4, Pupa.

雌雄とも前翅開張は14～17㎜．雄の前翅は前縁褶を持つ．前翅は灰色，ときに基部は褐色を帯びる．翅を横切る2本の暗色線があり，内側の線は翅の基部約1/3のところを前縁から外方へ走り，外側の線は外縁近くを走り，やや波状を呈する．外側暗色線の内側に2暗色点があるが，不明瞭な場合もある．後翅は淡灰色，ときに基部は褐色を帯びる．

2．成熟幼虫（Fig. 3）

体長約10㎜，頭部は褐色，前胸背楯は褐色～暗褐色．体色は淡黄褐色で，ときに赤色を帯び，越冬幼虫は褐色が増す．刺毛基板は小さく，褐色である．

3．蛹（Fig. 4）

体長約6㎜，淡褐色

生　　態

高岡・中沢（1956）によれば，本種は年2～3世代を経過する．葉タバコの貯蔵倉庫内では，第1回成虫は4月中旬～6月下旬，第2回目が6月下旬～9月上旬，第3回目は9月中旬～11月中旬に発生した．越冬は幼虫態で行われた．1雌当たりの産卵数は37～94卵．23～25℃で卵期間は6～7日，幼虫全期間は30～45日，6齢を経て蛹になった．蛹期間は10～13日，羽化した雌成虫は24時間以内に交尾し，遅くとも5日以内に産卵し始めた．産卵期間は7～14日．雌成虫の生存期間は平均11日，雄は10日であった．また，乾燥した葉タバコよりも適度な水分を含有した葉を好むらしい．

寄主植物：貯蔵穀類および乾燥食品等（葉タバコ，米，カカオ，乾燥果実，コーヒー，チョコレート，乾燥イースト，トウガラシ，トウモロコシ粉，オオムギ粉，乾燥キクイモ，ダイズ粉，ビスケット，麩，糠，綿実粕，ドライフラワー等）．

識　　別

本種は外部表徴では，家屋内や製粉工場等で発生するスジコナマダラメイガ Mediterranean flour moth, *Ephestia kuehniella* ZELLER に類似するが，前翅の外側の暗色線が細かく鋸歯状でない，雄交尾器の valva 内縁に突起を持たない，雌交尾器の ovipositor が短いことで区別できる．幼虫では，腹部第8節のSD1刺毛基板の褐色リング内側の着色されていない部分の直径とその下にある気門の直径が，スジコナマダラメイガはほぼ同じである（チャマダラメイガは気門の方が小さい）ことで区別が可能である．詳しくは WEISMAN (1991) あるいは吉田ら（1989）を参照．しかし，識別は雌雄交尾器

の形態で行った方が確実である．詳しくはHEINRICH (1956) あるいはFERGUSON (1991) を参照．

謝　辞

本種の同定ならびに文献の紹介をいただいた京都府立大学の吉安　裕博士に厚くお礼申し上げる．また．食品総合研究所の池長裕史主任研究官およびＪＴ岡山葉たばこ技術センターの秋本京子研究員にも文献をご紹介いただいた．ここに感謝の意を表する．

引用文献

FERGUSON, D. C. (1991) *Insect and mite pests in food. An illustrated key* (GORHAM, J. R. ed.) **1**：231－244, USDA/GPO, Washington, D. C.

HEINRICH, C. (1956) *U. S. Nat. Mus. Bull.* **207**：1－581.

井上　寛 (1982) メイガ科．井上他著，日本産蛾類大図鑑　1：307－404；2：pls. 36－48，講談社，東京．

高岡市郎・中沢邦男 (1956) 秦試報　**41**：1－16.

WEISMAN, D. M. (1991) *Insect and mite pests in food. An illustrated key* (GORHAM, J. R. ed.) **1**：245－267, USDA/GPO, Washington, D. C.

吉田敏治・渡辺　直・尊田望之 (1989) 図説貯蔵食品の害虫．268pp．全国農村教育協会，東京．

環動昆
第7巻　第1号：27－31（1995）

解　説

日本の節足動物媒介感染症とその動向[1)2)]

川端　眞人[3)]

神戸大学医学部医学研究国際交流センター

はじめに

昆虫やダニなどの節足動物が媒介する感染症を一群にして節足動物媒介感染症と呼ぶ．よく知られている疾患は蚊によって媒介されるマラリアで，世界の100ヵ国以上に流行し，年間死亡者数は200万人におよぶと推測される．マラリアやフィラリアなど蚊が媒介する感染症は日本国内でも過去に大流行した．今日もいく症例かの節足動物媒介感染症の発生が毎年報告されており，最近になって新たに国内での流行が確認された疾患もある．

しかし，節足動物媒介感染症の多くは熱帯や亜熱帯地域に流行する．ヒトに対する病害のみでなく，家畜への影響が深刻な節足動物媒介感染症もあり，該当国では保健医療の中で重大な問題となるばかりでなく，食糧問題や環境問題とも関連して汎地球的な課題である．本稿では，節足動物媒介感染症の国内および世界の現状から，今後の動向を風土病，人畜共通感染症，輸入感染症の観点から推測し，さらに地球環境問題との関連から考察する．

節足動物とは

節足動物には昆虫綱・蛛形綱・甲殻綱が属し，現存する全動物種の70%が含まれる．病原体を媒介するものには，マラリアや日本脳炎に関連する蚊などの昆虫綱と，日本紅斑熱やライム病と関連したダニ類があり，節足動物は昆虫綱とダニ類を包括した名称である．病原体を媒介し，中間宿主となる昆虫やダニをvector（ベクター）と呼び，vector-borne-diseasesを昆虫媒介感染症と訳すこともあるが，正しくは節足動物媒介感染症である．

他方，衛生害虫と称される一群の節足動物がある．これらにはミジンコなどベクター以外で寄生虫の中間宿主として働くもの，ムカデなどの毒虫となるもの，ハエなどの消化器系感染症の媒体となるもの，さらに，単にヒトに対し不快感や不潔感を起こすものなどが含まれる．これらは一般に衛生上有害と判断される節足動物で，ベクターも衛生害虫のひとつである．

風土病としての節足動物感染症

1．風土病とは

風土病に明確な定義はなく，一般に，ある特定の地方に限局して発生し，その発生機序に地方特有の自然環境が関与している疾患群を風土病と理解する．疾病に関与する自然環境には，1）気候，地質，地形など狭義の自然環境，2）栄養素など地方特有の食糧事情，3）地方特有の野生動物相が考えられる．狭義の自然環境に関与した疾病の広範囲な流行の記録は国内にはない．ヨード，鉄，ビタミンなど特定の栄養素の欠乏に起因する疾患はあるが，現在の日本の食糧事情では風土病とはなり難い．特定の地方に生息する節足動物や野生動物が中間宿主（ベクター）または保菌宿主（キャリヤー）となる感染症は国内でも古くから知られており，節足動物媒介感染症は国内の風土病の代表である．

過去に蔓延の歴史があり，現在では流行しない節足動物媒介感染症はマラリアとフィラリアで，いずれも蚊に

1）本稿は本学会第6回年次大会における特別講演（1994年11月1日・神戸市産業振興センター）の概要である．
2）Vector-borne-diseases in Japan and its Trends.
3）Masato KAWABATA (International Center for Medical Research, Kobe University School of Medicine, Kusunoki-cho 7-5-1, Chuo-ku, Kobe 650, Japan)

よって媒介される．マラリアは日本の全土の広範囲に流行し，第二次世界大戦後も，沖縄県では熱帯熱マラリアによる死亡例が多数あり，世界でも有数のマラリア浸淫地帯のひとつであった．1960年頃までに，ＤＤＴ残留噴霧や環境整備による媒介蚊の駆除の成果により制圧された．今日の日本でみられるマラリアは，すべて海外で感染した輸入マラリアである．

同様に，蚊によって媒介されるリンパ系フィラリア症であるバンクロフトおよびマレー糸状虫の２種は，九州から沖縄および八丈小島などの西日本に流行していた．糸状虫症も媒介蚊の駆除と集団治療が成功し，今日では新しい伝播はなく，慢性期の症状を有する患者のみ国内に残る．

２．現在も流行する国内の風土病

現在も流行し，毎年症例が報告される節足動物媒介感染症に日本脳炎，つつが虫病，野兎病がある．日本脳炎は，コガタアカイエカに媒介され，高熱と意識障害が出現するウィルス感染症で，致命率は20－50％である．ブタは日本脳炎ウィルスに感染すると多量のウィルスを流血中に出現するため，増幅動物として伝播に重要な役割を演じる．西日本を中心に，媒介蚊の発生に一致して春から夏に多数の患者が発生したが，1970年代から年間の発生数は100名以下である．減少の要因として，日本脳炎ワクチン接種の普及，媒介蚊の駆除対策の効果，ブタのワクチン接種と感染予防の実施などが挙げられる．

つつが虫病を媒介するツツガムシは土の中で生息し，幼虫期に一度だけ地上に出て吸血し，病原体リケッチァを媒介する．つつが虫病には２つの型がある．古典的つつが虫病は，新潟県や秋田県の東北地方に限局して夏場にのみ流行し，アカツツガムシが媒介する．これに対し，1970年以降に出現した新型つつが虫病はフトゲツツガムシやタテツツガムシが媒介者となる．新型つつが虫病は北海道を除く全国に流行し，春から晩秋までの期間に患者が発生する．10年以上前には患者の届け出数は増加したが，最近では，新型つつが虫病の知識の普及，早期診断法の開発，適切な抗生物質の選択により減少傾向である．

野兎病はマダニによって媒介される細菌感染症で，自然界ではマダニと野兎との間に感染サイクルを成立している．ヒトはマダニ刺咬傷または狩猟や調理時に野兎との接触により感染するが，野兎以外の保菌宿主も存在するため，他の齧歯類からの感染も考えられる．日本では東北地方に限局し，年間数例の症例が報告されている．

３．新しく確認された風土病

日本紅斑熱：ロッキー山紅斑熱など紅斑熱リケッチァ症群は世界に広く分布する．日本でも1980年代に小型の発疹が出現し，つつが虫病を疑われた患者が血清診断の結果から紅斑熱リケッチァ症と診断された．これまでに九州，四国，本州の千葉県までの西日本から患者が報告されている．世界には６種の紅斑熱リケッチァ群に属するリケッチァが記載され，すべてマダニが媒介し，各々のマダニ種と野生動物相との間で感染サイクルを形成する．日本で検出された病原体リケッチァも固有の種であると確認され，日本紅斑熱と命名された．日本紅斑熱は小紅斑が出現する熱性疾患で，治療にはテトラサイクリンが有効である．日本紅斑熱の媒介マダニは不明である．野外で採集されたタイワンカクマダニから日本紅斑熱リケッチァが検出され，本種が媒介マダニの１種と推測されるが，タイワンカクマダニはヒトに寄生することは少ないため，主要媒介マダニであるか否かは不明である．これまでの症例の発生地から，主要媒介マダニは南方系マダニ種であると推測される．

ライム病：ライム病はマダニによって媒介されるボレリア感染症である．皮膚，関節，循環器，神経系などに多彩な病変を生じる全身性感染症で，慢性に経過する．1970年代にアメリカ合衆国で最初に確認されたが，ヨーロッパでも類似のマダニ関連疾患は古くから記載されていた．日本では1980年代から症例が報告され，媒介マダニは北方系のシュルツェマダニである．流行地はシュルツェマダニの生息地に一致して，北海道から本州の中部地方に分布する．ライム病は北半球に広く分布するが，臨床経過は地域により著しく異なり，地域ごとの病原体ボレリアの病原性の違いに由来すると考えられる．日本のライム病の臨床経過は比較的軽症で，治療は感染早期にペニシリンやテトラサイクリンが有効である．

ライム病の特徴的症状である遊走性紅斑に関しては，ライム病非流行地の九州でタカサゴキララマダニ刺咬傷後に遊走性紅斑が出現した患者が報告された．臨床経過からライム病が示唆されたが，ボレリアに対する血清反応は陰性で，病原体は不明である．ヒトの病原体は19世紀後半のロベルト・コッホによる脾脱疽病菌の発見が世界最初で，20世紀の初頭までにウィルスやクラミジアを含むほとんどの病原体が確認・検出された．しかし，ライム病の病原体にみられるように，新しく確認される可

能性もあり，今後も未確認の病原体の検出に注意を払う必要がある．

人畜共通感染症の観点から

1．国内のリケッチァ感染症

節足動物媒介感染症の今後の国内問題を予測すると，人畜共通感染症の観点からリケッチァ感染が課題となる．ヒト感染症の病原体となるリケッチァ種は，発疹チフス群，紅斑熱群，つつが虫病，エーリキャ症群，Q熱，塹壕熱の6群のグループに分類される．これらはすべて節足動物によって媒介され，通常は自然界の野生動物と節足動物との間に感染サイクルを形成しており，ヒトはその感染サイクルに偶発的に侵入するため感染する．リケッチァ感染症の現在国内での流行状況は，日本紅斑熱とつつが虫病は現在も流行し，発疹チフスや発疹熱の発疹チフス群は第2次世界大戦後の混乱期まで国内で流行したが，1960年代以降は患者の発生はない．エーリキャ症群である腺熱リケッチァ症は九州で古くから報告され，病原体リケッチァは国内で分離された．最近では，腺熱リケッチァ症の症例報告は極めて少ない．Q熱はオーストラリアや北米大陸で広く流行しており，最近，国内でも患者の存在を示唆する症例が報告された．自然界の感染サイクルは解明されていないが，国内でも家畜やペットに広く感染していると推測される．塹壕熱はシラミによって媒介される熱性疾患で，第1次および第2次世界大戦時にヨーロッパで大発生したが現在ではみられない．

2．グラム陰性桿菌と節足動物媒介感染症動物との関連

リケッチァは小型のグラム陰性菌で，宿主の細胞内に侵入し増殖する．分類ではクラミディア，インフルエンザ桿菌，野兎病菌と同様に短桿菌に属する．また，ねこひっかき病の病原菌である *Afipia felis* やバルトネラ症の病原菌である *Bartonella bacilliformis* も短桿菌のグループである．これらには培養が困難で，節足動物によって媒介され，人畜共通感染症が多いなどいくつかの共通特性がある．

近年の遺伝子工学技術の開発は医学研究分野にも普及し，培養困難な微生物の検出にも応用されている．そのひとつの例として，エイズなど免疫不全患者に発病する Bacillary angiomatosis（細菌性血管腫症）や Bacillary peliosis hepatis（細菌性肝臓紫斑病）の病原体がある．本症は日和見感染として発生し，病理学的には皮膚や内蔵の毛細血管が増殖する疾患で，組織学的に細菌が確認されるが，培養による分離はできなかった．しかし，分子生物学的手法の導入により病原体遺伝子構造が確認され，*Rochalimaea* 属の *Rochalimaea henselae* と確定された．本種は，遺伝系統発生の分析から，塹壕熱の病原体である *Rochalimaea quintana*，ねこひっかき病，バルトネラ症の病原体とも極めて近縁種の *α-proteobacteria* に属する．今後国内で発見される可能性がある節足動物媒介感染症として，すでに国内に潜在している *Rochalimaea* グループによる感染が日和見感染として顕性化することが想定される．これらは節足動物に媒介され，また人畜共通感染症となる可能性が高いと考えられる．

輸入感染症の観点から

1．輸入感染症の可能性

日本国内では媒介種が生息しないため流行（伝播）はないが，海外から輸入感染症として持ち込まれる節足動物媒介感染症は考えられる．輸入感染症では，1）日本に侵入する可能性，2）日本で流行する可能性，3）日本に土着する可能性の3つの状況が想定される．侵入する可能性では，患者が海外で感染して帰国する，あるいは既感染の外国人患者が日本に滞在する場合があり，検疫の対象疾患となる．潜伏期が長く，不顕性感染が多く，慢性化する感染症が侵入しやすい．節足動物媒介感染症では，ベクターである中間宿主（媒介節足動物），また人畜共通感染症では，保菌宿主（キャリアー）としての侵入も考えられる．次に，国内での流行する可能性は，病原体が持つヒトからヒトへの感染伝播能力によって決定される．感染様式が節足動物媒介である病原体の場合は，飛沫や接触などを介して直接感染はなく，血液を介する感染以外に国内での流行の可能性は少ない．最後に，土着する可能性は，国内に媒介種となる節足動物や保菌宿主となる野生動物が存在するか否かで確定する．一般に，宿主と病原体との特異性は厳格で，病原体は特定の宿主にのみ感染する．しかし，節足動物媒介感染症の多くは，宿主と病原体との関連はゆるやかで，その結果，多くの動物種に感染するものが多くあり，国内の野生動物に土着することが考えられる．

2．ＴＤＲ指定疾患

節足動物媒介感染症の多くは熱帯・亜熱帯地域に流行しており，熱帯病の範疇に入る．熱帯病に関しては，その制圧を目的に国連開発計画（UNDP），世界保健機関

（WHO），世界銀行の３つの国際機関が共同出費し，国連熱帯病特別計画（TDR）を実施中である．国連熱帯病特別計画の対象に指定された疾患はマラリア，住血吸虫症，糸状虫症，アフリカトリパノソーマ症，アメリカトリパノソーマ症，リーシュマニア症，らい（ハンセン病）の７疾患で，住血吸虫症とハンセン病を除き節足動物媒介感染症である．マラリアとバンクロフトやマレー糸状虫症のリンパ系フィラリアは，すでに紹介したように，過去に国内の大流行があり，現在では輸入感染症として年間100例以上のマラリアが報告されている．皮膚に成虫が寄生するフィラリア症であるオンコセルカ，アフリカトリパノソーマ症（睡眠病），アメリカトリパノソーマ症（シャガス病），リーシュマニア症が今後の輸入感染症と候補疾患となる．

オンコセルカ症はブユによって媒介され，仔虫のミクロフィラリアは角膜や細膜内に侵入し失明に至る．西アフリカではオンコセルカ症防圧プロジェクトを展開し，その成果により患者数は減少した．アフリカ・トリパノソーマはツェツェバエによって媒介され，慢性期には中枢神経系を障害し致命率は高い．また，ウシなどの家畜にも感染するため食糧供給問題にもなっている．アメリカ・トリパノソーマ症はサシガメによって媒介され，メキシコ以南の中南米に広く流行する．慢性期には循環器と消化器を障害する．人畜共通感染症で，保菌宿主となる野生動物が数多く存在する．リーシュマニア症の起因原虫は４種類で，すべてサシチョウバエによって媒介される．病型は内蔵型，皮膚型，皮膚粘膜型に分かれ，内蔵型は主に肝臓や脾臓の細網内皮系で原虫が増殖し全身性の症状を呈し，皮膚型は皮膚血管内皮に増殖するため皮膚潰瘍を形成し，皮膚粘膜型では病変が粘膜に拡大する．

オンコセルカ症，アフリカトリパノソーマ症，アメリカトリパノソーマ症，リーシュマニア症は，いずれも慢性感染症であるため海外で感染し，国内へ持ち込まれる可能性は十分に考えられ，これらの治療は困難であることから，流行地に滞在する場合は注意が必要である．媒介種となる熱帯性節足動物の生息域の拡大も考えられる．非流行地での伝播に関しては，輸血によりヒトからヒトへの感染はあり，アメリカ合衆国では輸血によるシャガス病感染例は多く報告されている．

３．マダニ媒介ウィルス感染症

マダニはウィルスから原虫まで多種類の病原体を媒介し，国内では日本紅斑熱，ライム病，野兎病を伝播する．マダニは卵から孵化し，幼ダニ→若ダニ→成ダニと発育する間に一世代に３回の吸血機会を持つ，吸血対象は哺乳類から鳥類，爬虫類までさまざまで，多種類の動物間で病原体をやり取りするため，人畜共通感染症の原因となる．原虫のバーベシア症，リケッチァのエーリキア症やQ熱は国内の家畜に広く流行する．

今後，日本への侵入が予測され，重篤な病変を生じ，致命率の高いマダニ媒介性疾患にマダニ媒介脳炎とマダニ媒介出血熱が挙げられる．マダニ媒介脳炎ウィルスのグループはFlaviウィルスに属し，ヨーロッパ諸国からユーラシア大陸に分布し，家畜にも感染するため，人畜共通感染症としても問題となる．出血熱の代表はNairoウィルスによるコンゴクリミア出血熱である．アフリカ・地中海沿岸・中央アジアに分布し，感染力が強力で，院内感染や家族内感染例の報告も多い．脳炎ウィルスおよび出血熱ウィルスともに，流行地域は西から東に拡張傾向があり，日本への侵入には警戒を要する．これらは急性感染症であるが，近年の輸送手段の発達により国内への侵入は可能であり，感染力が高いため，一度侵入するとヒトからヒトへの流行もありうる．また，媒介マダニと病原体との特異性はゆるやかであるため，侵入した病原体と国内のマダニ種との間に新たな感染サイクルが形成され，国内に土着する危険性も考えられる．

地球環境問題と節足動物感染症

１．地球環境の変貌と節足動物の動向

節足動物媒介感染症の流行地の拡張が予測され，その要因として地球環境問題がある．19世紀後半に始まった産業革命以来，人間の生産・生活活動の拡大にともなって，二酸化炭素など温暖効果ガスの排出量が急速に増加し，地球の温暖化を促進した．温暖化が誘発する健康への影響も考慮され，そのひとつに媒介節足動物の生息環境への影響，ことに熱帯や亜熱帯の媒介節足動物の生息域の拡大が懸念される．蚊によるマラリア，デング熱，黄熱，日本脳炎と巻貝による住血吸虫，さらに，シャガス病（サシガメ），睡眠病（ツェツェバエ），リーシュマニア（サシチョウバエ），オンコセルカ症（ブユ）の流行域が拡張し，これまでの非流行地にも波及する恐れが指摘される．

また，地球上では広範な森林の伐採が進行中で，森林の消失によりマダニ活動範囲は変化している．マダニ媒

介感染症は，森林内で野生動物とマダニとの間の感染サイクルを形成しており，ヒトの生活圏とは隔離された状態にある．森林の消失により野生動物が生息域を追われると，マダニも行動をともにしてヒトの生活圏に侵入し，ヒトと媒介マダニとの接触機会が増加する．その例として，インドで発生したキャサヌール（Kyasanur）森林熱がある，本症は脳炎ウィルスによる感染症で，マダニによって媒介される．通常はネズミやサルが保菌宿主であるが，森林を切り開き，カッシュナッツ農園や工場を設置した村でキャサヌール森林熱が集団発生した．その原因として，森林の伐採で生息域をおわれたネズミなどの保菌宿主や，マダニが野山からヒトの生活圏内に侵入し，人口が集中していたグループ内に伝播したと推測される．森林の消失による生物の多様性維持の問題が指摘されているが，マダニ媒介感染症の拡張の側面も懸念される．

2．節足動物媒介感染症の対策

地球環境の変貌とその影響から節足動物媒介感染症の動向を推測すると，地球の温暖化にともなうマラリアなど，熱帯および亜熱帯感染症の流行地の拡張と，森林の消失にともなうマダニ媒介感染症の移動が重要課題となる．日本では検疫態勢は整備されており，ことに近年のヒトと物質流通の隆盛により輸入感染症が警戒されている．しかし，地球環境の変貌にともなう感染症の動向に対しては，従来の検疫概念を超えた方策が期待され，対策として以下の3つが提案される．

第一に，研究組織の設立と専門家の育成．地球環境に関連した感染症は多方面の知識や手法が要求される．基礎微生物学，寄生虫学，公衆衛生学，臨床感染症学，昆虫学，動物学，生態学，社会学その他の領域が関与する学際的な分野であり，これらの専門知識を総括した研究グループを組織して，専門家を育成する．第二に，現地での地域調査と情報の提供．これまでの国を単位とした研究対象から，広範な地域研究調査（area study）に変更し，資料を収集・解析する．その成果は有効に専門家向け，または一般向けに提供する．第三に，マニュアルの作成．国内への侵入および土着を想定したマニュアルを作成し，対応行動を検討し，状況に応じて改訂する．地球環境の変貌にともなう感染症の現状を把握するため，研究組織の設立と地域調査の早急な開始が望ましい．

おわりに

節足動物媒介感染症を風土病および輸入感染症，地球環境問題との関連から考察した．従来の節足動物媒介感染症は，特定の地方に限定して生息する風土病として扱われていたが，今日の日本では，自然環境の衰退と画一化された人工環境によって風土病としての存続基盤が失われつつあり，変わって輸入感染症が注目される．輸入感染症は外国，またはある他の地方からの病原体の移動であって，そこには連続性はないため，検疫が効果的な防圧手段となる．検疫の概念は，19世紀にインドからコレラの侵入に対するため英国で発達した水際での対策である．しかし，今後問題化が予測される地球環境問題にともなう感染症の動向は，ダイナミック，連続性，かつ多発性な拡張であり，地球規模感染症（仮称）と呼ぶにふさわしい．その対策には，従来の概念を超えた方策が必要で，地球規模感染症学を提唱しその確立を期待する．

環動昆
第7巻　第1号：32－36（1995）

解　説

家庭用・防疫用殺虫剤における点処理技術について[1)2)]

安部　八洲男[3)]

住友化学工業㈱農業化学品研究所

はじめに

現在，家庭用，防疫用殺虫剤が直面している主な問題点をあげると：

1）殺虫剤が害虫に対して効きが悪くなってくるという薬剤抵抗性，これはイエバエなどに顕著にあらわれてきている；

2）たとえば，ビル内の床にカーペットが敷いてあり，水和剤や乳剤はカーペットが汚れるので撒けないとか，最近のオフィスや家庭内では，パソコン，ファクシミリ，テレビ，ビデオ等，いろいろな精密機器があり，燻煙剤やULVなどは，これらの機器の故障の原因になるために使い難いなど，使用上の制約が増えてきた；

3）社会一般の，殺虫剤に対する安全性や，残留に関する意識の高まりがあり；

4）環境保護への関心が高まり，これらが直接，殺虫剤に対する消費者圧力となり，または法・規制や登録要件の強化へつながる．

上記の(1)，(2)は，主に技術的問題であるが，(3)，(4)は，社会的な問題と考えられる．

点処理（Point Treatment）とは

ここで述べる“点処理（Point Treatment）”とは，

1）局所処理である；

2）目的を達成したら回収できる；

の二つの要件を満たすものと定義される．

処理面積が広いのが面処理で，狭いのが点処理だという考え方もあるが，筆者は上記(2)の要件も満たしたものが“点処理”だと考えている．

これに似た言葉で，“スポット処理（Spot Treatment）”という処理法があるが，これはEPA（アメリカ）によると，“2 ft^2より大きくない小面積への殺虫剤の処理”と定義されている．これは面積の大小のみで区別しているものであり，ここでいう点処理とは異なる概念である．

他に，Crack-and-crevice処理（隙間処理）というのがあるが，これは局所施用ではあっても，(2)の要件を満たしていないので，点処理ではないと言える．

実例をあげると，(1)ゴキブリベイト，ハエベイトなどのベイト剤（毒餌剤），(2)ゴキブリ捕獲器，ハエトリ紙，ハエ取りリボンなどのトラップ（捕獲器），(3)イヌ，ネコのノミ取り首輪（防虫首輪），家畜のイヤータッグ，(4)電撃誘引殺虫器（Electric UV-light trap）などが実用化され，市販されている点処理剤である．

点処理技術の構成要素

点処理技術は，誘引（Attraction）と接触（Contact）と駆除（Elimination）の三つの要素から構成されている．点処理は殺虫剤を大面積に処理しないので，まず何らかの方法で害虫を処理点へ集めてこなければならない．次に集まってきた害虫がそこにある薬剤に触れたり，食べたりしなければならない．そして，単に食べたり触れたりしただけでは駄目で，それにより死んだり，不妊化などして駆除されねばならない．

1）本稿は本学会第6回年次大会におけるシンポジウム（1995年11月1日・神戸市産業振興センター）の概要である．

2）Point Treatment as an Application Technique for Household and Public Health Insecticides.

3）Yasuo ABE (Agricultural Chemicals Research Laboratory, Sumitomo Chemical Co. Ltd., 4-2-1, Takatsukasa, Takarazuka, Hyogo 665, Japan)

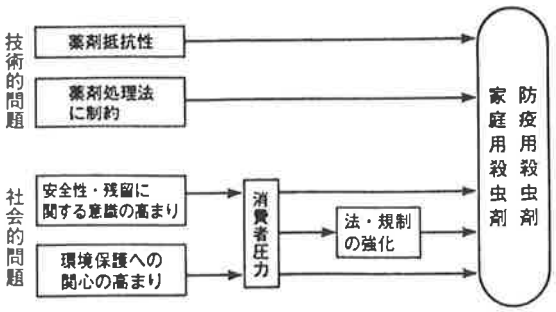


図1　家庭・防疫用殺虫剤が直面している問題点.

誘引には，性誘引物質，食物誘引物質，産卵誘引物質，物理的誘引源（光，色，音，温度，動きなど）などが利用できる.

接触には，たとえばゴキブリベイトの場合には，ゴキブリが小さな穴から侵入し，次に出て行くには，出口の穴を捜すために，一定時間はそこにいる必要があるような装置（しかけ）が工夫されている．不妊化剤などを使用する場合は，装置内での害虫の滞在時間をできるだけ長くし，害虫と不妊化剤との接触量を大きくする工夫が重要となる.

駆除の方法としては，触れたり食べたりした結果死ぬように，殺虫剤や殺鼠剤が使われる．また，死にはしないが産卵抑制や孵化抑制をし，次世代の密度を抑制する不妊化剤を使ったり，物理的に熱や電気で死んだり，あるいはネズミなどは，挟み込んで圧力で殺す（圧殺）ものもある．粘着シートのように殺虫成分は含まれていないが，粘着して動けなくし，餓死させる方法や，最近はあまり見かけなくなったが，ハエを石けん水の中に水没させて溺死させる，ハエ取りトラップなどもある.

点処理技術の利点

空間処理，面処理，線処理など，他の処理法と比べて，点処理には次のような利点がある：

1．環境へのインパクトが小さい.

局所限定処理なので，処理面積は小さくなり，非標的生物（ペット，天敵，ホタル，トンボなど）への影響を最小にすることができる.

2．回収できる.

目的を達成したら，回収して，廃棄，焼却などができるので，残留による環境汚染を避けることができる.

3．クリーンな処理である.

図2　点処理技術の構成要素.

薬剤をばらまかないので，精密機器などがある部屋とか，食品を取り扱っている場所などでも使える.

4．人への安全性が高い.

処理者（使用者）や，処理された場所での居住者への接触の機会が少ないので，人への安全性が高まる.

5．処理法や，操作が比較的簡単にできる.

ゴキブリベイト，ゴキブリ捕獲器，ノミ取り首輪などを考えると，特別な散布器具や保護具などを必要とせず，処理およびその後の回収が容易にできる.

他方，欠点としては，

1．薬剤を広範囲にばらまかないので，害虫の習性にかなった，的確な場所（通路，潜み場所，発生源，棲息地など）および的確な時期に，処理するか否かが効果に大きく影響する；

2．効力が目に見えて発現するのが，燻煙剤や，ULVと比べてやや遅い，などが考えられる.

点処理は，このような特徴を有するので，殺虫剤による汚染をできるだけ避けたい場所，分野に適していると言える．たとえば，(1)家庭，学校，病院，ホテルなど，常時，人が生活する環境，(2)飲食店舗，食品工場など，食品を取り扱う環境，(3)コンピューター室，新幹線の運転室など精密機械がある場所，(4)害虫密度が比較的高くなくて，低密度を長期に維持したい環境，などがあげられる.

ゴキブリベイトの野外試験例

1．材料および方法

この試験で使用したゴキブリの誘引要素は，黒砂糖のような，ゴキブリが好んで食べる餌を使う，つまり食物誘引物質である.

接触要素はゴキブリが一頭ずつ侵入できる小さな穴を持った小箱（収納容器）を使った．ゴキブリは，この穴

から入って，餌を食べて，再び穴から出るので，ある程度の滞在，接触時間がかかるわけで，素通りはできない構造になっている．

駆除要素には，殺虫成分（フェニトロチオン，ホウ酸，ヒドラメチルノン）を使用した．フェニトロチオンはアセチルコリンエステラーゼ阻害剤，ホウ酸は消化中毒剤，ヒドラメチルノンはミトコンドリアの呼吸酵素電子伝達系阻害剤として知られている．

試験例－1

1）0.8％フニトロチオンベイト：厚紙による収納容器に内包当研究所で作成した．

2）場所：約100㎡の作業室（宝塚市），ゴキブリ指数：3.44（中密度），ほとんどがチャバネゴキブリで，クロゴキブリが少々．

3）処理量：25個（100ｇ）／100㎡

4）時期：1987年12月

試験例－2

1）50％ホウ酸ベイト：市販品のベイト部分を取り出し，試験例－1と同じく，厚紙で作った収納容器に内包した．

2）場所：約23㎡の作業室（宝塚市），ゴキブリ指数：7.83（中密度），ほとんどがチャバネゴキブリ．

3）処理量：10個／23㎡

4）時期：1987年8月～9月

試験例－3

1）1.65％ヒドラメチルノンベイト：プラスチック製収納容器に内包した市販品．

2）場所：約30㎡の喫茶店（大阪市），ゴキブリ指数：16.4（高密度），ほとんどがチャバネゴキブリで，クロゴキブリが少々．

3）処理量：12個（90ｇ）／30㎡

4）時期：1991年7月～10月

2．試験結果

結果は図3に，ゴキブリ密度を縦軸に，時間（週）を横軸に表した．

フェニトロチオンベイトや，ヒドラメチルノンベイトは，ホウ酸ベイトより，やや即効性があるように思われた．これは筆者らが，実験室内で行なった．他の室内試験でも同じような傾向が認められており，フェニトロチオン，ホウ酸，ヒドラメチルノンの作用性の違いによると思われる．小田ら（1987）も，ヒドラメチルノンベイトとホウ酸ベイトを試験し，ホウ酸ベイトがやや遅効性であったと述べている．

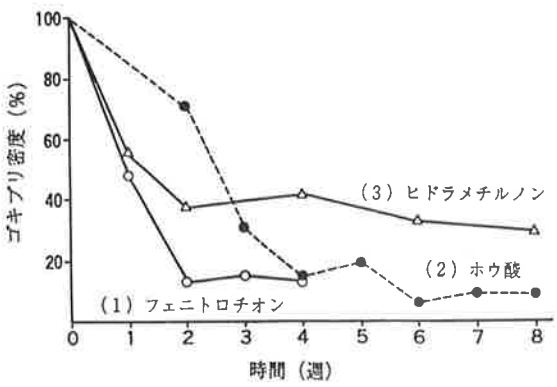


図3　ゴキブリベイトの野外試験例（安部八洲男，千保　聡；1994）．

ヒドラメチルノンベイトでゴキブリ密度がやや下がっていないのは，試験場所の喫茶店が，周囲を食堂に隣接しており，外部からのゴキブリの侵入があるのではないかと考えられる．

試験場所，試験時期などの条件がそれぞれ異なるので，これらを同列に比較して細かい議論はできないが，いずれのベイトもゴキブリの密度を十分に減少させ，かつ低密度を長期間維持していると言える．

日本の家庭用ゴキブリ殺虫剤の市場推移

日本における家庭用ゴキブリ殺虫剤は，主に，①燻煙剤，燻蒸剤，②ゴキブリエアゾール，③捕獲器，④ベイト剤の4つに分けられる．燻煙，燻蒸剤は，立体的処理なので3次元処理であり，ゴキブリエアゾールは，直撃型と残留塗布型の両方があり，1～2次元処理と言える．それに対して，捕獲器，ベイト剤はここで言う，点処理（0次元）と言える．

図4は，富士経済社（1993）のデータなどから作成したものである．過去10年間の市場推移を見ると，ゴキブリ殺虫剤の総額は，ほぼ150億円前後で一定しているが，捕獲器とベイト剤の売り上げを合計した，点処理剤の，金額ベースの商品別市場シェアは，過去10年間にわたり一貫して漸増している．特に，ここ5～6年のベイト剤の伸びが大きい．

ベイト剤は，1989年に，ヒドラメチルノン製剤が上市されたという要因もあり，1989年以降ベイト剤のシェアは伸びている．しかし，ゴキブリベイトはそれより以前から少しずつ増えているし，0次元処理（点処理）の合

計シェア（捕獲器＋ベイト剤）として見た場合，過去10年間，安定してなだらかな上昇を続けている．これは点処理が持つ，環境や安全などへの利点が，使用者に受け入れられてきたためと思われる．

殺虫剤処理法の傾向

殺虫剤処理法をその次元の順に並べると，図5のようになる．燻煙／燻蒸剤やULVは3次元である空間処理，残留散布や，防虫シートは2次元である面処理，ゴキブリテープや，隙間処理は1次元であり，線処理といえる．これらに対して，ベイト，トラップや，イヌ，ネコのノミ取り首輪などは，小面積の局所限定処理で，処理後，目的を達したら回収して，焼却や廃棄する事ができ，0次元（点処理）と言うことができる（安部，1990；安部ら，1990）．

3次元→0次元の方向は，これがそのまま歴史的変遷の方向を示すものではないが，

処理面積：広い → 狭い

害虫密度：高い → 低い

へと向かっており，ある程度社会的ニーズの方向であると言うことはできる．

もちろん，家庭用か防疫用か，都市か農村か，先進国

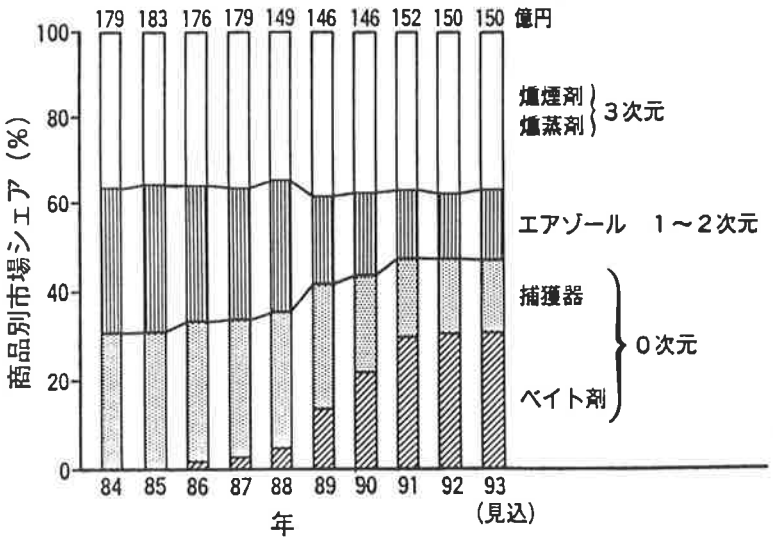


図4　家庭用ゴキブリ殺虫剤の市場推移（日本）（トイレッタリーグッヅマーケティング要覧，富士経済社など；1993）．

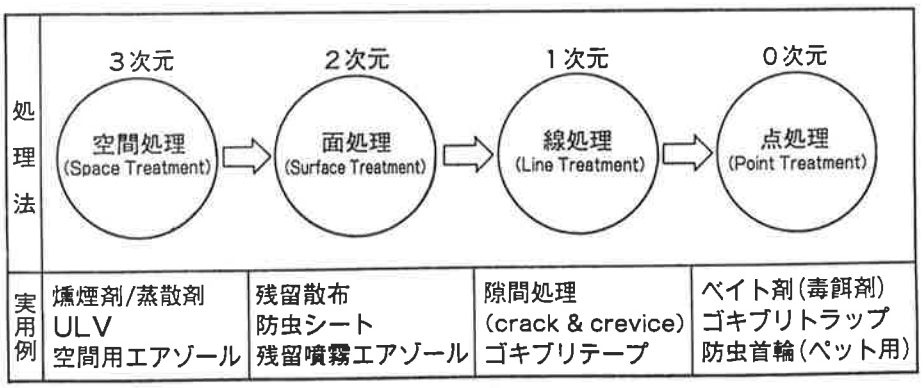


図5　殺虫剤処理法の傾向（安部八洲男ら，1990）．

か開発途上国かなど，用途，分野，状況で異なり，すべて同じように言えるものではないが，殺虫剤処理法の傾向はマクロに見て，３次元（空間処理）→０次元（点処理）の方向に向かっていると言えよう．

まとめと今後の課題

以上をまとめると：

１．点処理技術は，閉鎖系である室内（住宅，レストラン，畜舎など）では極めて有効な手段である；

２．点処理は，環境へのインパクトを小さくすることができる技術である；

３．点処理技術は，実用場面における重要性が増してきている．この傾向は今後とも高まっていくであろう；

４．処理技術はマクロなトレンドとして，３次元処理（空間処理）→２次元処理（面処理）→１次元処理（線処理）→０次元処理（点処理）へと向かっている．

今後の課題としては：

１．ネズミ，ゴキブリなどの匍匐害虫には，比較的有効な点処理技術が開発されているが，ハエ，カなどの飛翔害虫には，まだ効果的なものが少ない．これらの害虫の習性，行動，生態なども含めた研究が必要であろう；

２．害虫の密度が高いときや，開放系では，他の処理法との組み合わせが必要であり，そこでは現場の状況や条件に応じた，他手段との効果的な組み合わせ法の研究が必要であろう．

引用文献

安部八洲男（1990）ピレストロイドとは何か，その特長と変遷．第34回全国環境衛生大会抄録集，pp．21－22．

安部八洲男・鴨下克三（1990）害虫をやっつける，快適な生活空間を保つために．化学と教育　38：656－660．

安部八洲男・千保　聡（1994）点処理技術について，（Ⅰ）ゴキブリベイト．環動昆第６回年次大会要旨集，p.51．

富士経済社（1993）トイレタリーグッズマーケッテイング要覧．．

木村碩志（1991）家庭用殺虫剤の今後の展望．生活と環境　36 (3)：34－41．

小田　力・伊藤達也・水谷　澄・島田篤夫（1987）食毒剤によるチャバネゴキブリの駆除実験．環境管理技術 5 (2)：73－75．

環動昆
第7巻　第1号：37－48（1995）

研究奨励賞受賞論文

マイクロカプセル化殺虫剤の作用機構に関する研究[1)2)]

川田　均

住友化学工業㈱農業化学品研究所

Studies on the Modes of Action of Microencapsulated Insecticides. Hitoshi KAWADA (Agricultural Chemicals Research Laboratory, Sumitomo Chemical Co., Ltd., Takarazuka, Hyogo 665, Japan) *Jpn. J. Environ. Entomol.* 7：37－48 (1995)

Insecticidal and physicochemical properties of microcapsule (MC) formulations for cockroach and mosquito control use were studied. The D/T ratio (the ratio of mass median diameter (D) to wall thickness (T)) was found to be important parameter for the strength of microcapsules. Mechanical rupture of capsule particles by the contact of insects was thought to be the main mode of entry of insecticides and the residual activity was closely related to the D/T ratio. The oral ingestion of MC particles and their mastication in the crop were also found to be one route by which MC cause the death to the insects. Different particle designs were required for cyphenothrin (pyrethroid) MC and fenitrothion (organophosphate) MC due to the differences in modes of action of the two active ingredients. The advantages with MC were found not only to be the protection of active ingredients from evaporation, adsorption and decomposition but to be the regulation of the pick-up of active ingredients to the proper amount to kill an insect.

Key Words：Microcapsules, Cockroach, Mosquito, Fenitrothion, Cyphenothrin

ゴキブリあるいはマラリア蚊防除用に開発されたマイクロカプセル（MC）剤の効力およびその物理化学的特性について研究を行った．その結果，カプセルの膜厚に対する粒径の比であるD/T比がカプセルの強度と高い相関関係にあることを発見した．また，昆虫がカプセル処理面に接触することによるカプセル膜の機械的破壊が，最も大きな作用経路であり，したがって，D/T比は残効性の長さに密接な関係を持つことがわかった．さらに，カプセル粒子の経口的摂取とそ嚢中での咀嚼が第二の作用経路であることを示した．ピレスロイドであるシフェノトリンを含有するMCと有機リン剤であるフェニトロチオン

1）本稿は本学会第6回年次大会における研究奨励賞受賞講演（1995年11月1日・神戸市産業振興センター）の概要である．
2）The Society Award Study.

を含有するＭＣとには，有効成分自体の作用性の違いに起因したそれぞれ独自のカプセル設計が必要となることがわかった．また，ＭＣ化することによって得られるメリットは，有効成分の処理面への吸収や分解・蒸散を抑制することだけではなく，昆虫による有効成分の過剰な持ち去りをも調整できることにあることがわかった．

はじめに

近年，農薬の安全性に対する規制が厳しくなり，また殺虫剤の性能に対するレベルアップ指向が高まるのにともなって，新しい殺虫成分を開発するためのコストは増加する一方で，その確率はますます低くなっているのが現状である．一般に，一つの化合物を開発するために必要な経費は50～100億円，かかる期間は７～10年といわれている．このような現状の中で，既存の殺虫成分の欠点をカバーし，さらに長所を高めるような製剤技術の開発は，今後の殺虫剤開発における一つの有益な戦略であると考えられる．衛生害虫防除を目的とする殺虫剤の最近の動向をみると，その処理方法はＵＬＶ処理や空間散布のような３次元的処理から，残留散布のような２次元的処理へ，さらにはクラック＆クレバス処理のような１次元的処理，ベイト剤に代表される０次元的処理へと移行している（川田ら，1994）．

残留散布処理は，薬剤の無駄がなく目的とする処理面以外の汚染が少ないのが利点であるが，空間処理に比べ施工時間がかかることと，処理面の影響による効力低下という問題を抱えている．液剤は，当然のことながら，ベニヤ合板やコンクリート・漆喰といった吸収面において速やかに吸収されてしまい，同時に効力も吸収の度合いに比例して低下する（Chadwick，1985）．このような処理面の材質以外にも処理面の温度やｐＨ，塗料などによって薬剤の効力は影響を受ける．Rust and Reierson（1988）はピレスロイド剤のゴキブリに対する殺虫作用が処理面に付着した油分によって低下することを報告している．Chadwick（1985）は乳剤や油剤に比べて水和剤が表面に残留し易く，ゴキブリに対する残効性も長いことを示しているが，マラリア媒介蚊防除の実情を考えると水和剤の使用は極めて難しいと考えられる．

殺虫剤を微小なカプセルに閉じこめるマイクロカプセル（ＭＣ）化技術はわが国では比較的歴史が浅く，ゴキブリ防除に使用できる製剤は今のところダイアジノンＭＣとフェニトロチオンＭＣの２製剤が登録されているだけである．ＭＣ製剤はその特殊な製剤形態のために他剤とは異なった作用特性を有する．さらに，ＭＣ剤は処理面の性状に影響を受けず，しかも有効成分をカプセル中に閉じこめてしまうために，殺虫剤の安定性や安全性を向上させることができる．散布者の薬剤被曝量が乳剤等に比べて小さくなるのもメリットの１つである．われわれは有機リン剤であるフェニトロチオンやピレスロイド剤であるシフェノトリンを有効成分としたＭＣ剤の開発を通して，そのカプセル粒子の設計と害虫に対する作用機構についていくつかの新しい知見を得たので，その概要を報告する．

ＭＣ製剤の製法

われわれの技術によるＭＣは，直径が数ミクロンから数百ミクロンの微小球であり，Fig. 1 に示されるように，膜を形成する膜物質と有効成分を含む芯物質からなっている．ＭＣ製剤はさまざまな方法によって行なうこと

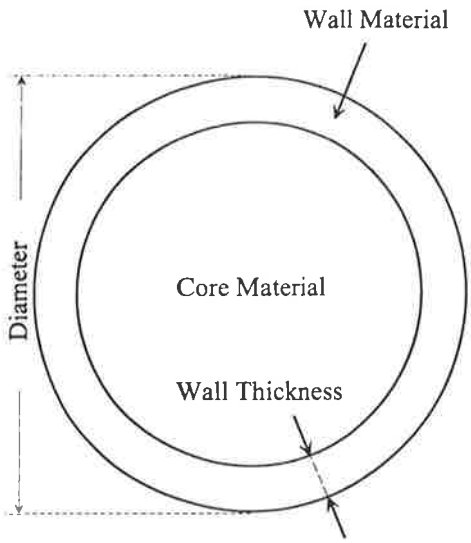


Fig. 1 The structure of a microcapsule particle (Tsuji *et al*, 1989).

が可能であるが，工業的生産を前提とした場合は界面重合法といわれる方法が工程制御上最も有効であり，われわれもこれを採用している．その理由は，MCの粒径および膜厚の調節が容易であり，膜物質となる高分子の選択の自由度が高いという2点にある．界面重合法によるMCの製造方法の概略をFig. 2に示したが，この方法による製造方法の基本は，水／油界面における重合反応により合成高分子膜を形成させることである．MCの膜厚は界面重合反応に使用する水溶性及び油溶性モノマーの量によって調節することができる．また，粒径は分散液中の油分によって形成される油滴の粒径によって決定される．MC粒子はある程度の分布幅を持っているために，粒径はコールターカウンターで計算された平均粒径で表示される．

哺乳動物に対する毒性

フェニトロチオンMC剤の哺乳動物に対する急性毒性試験結果をTable 1に示した．MC化したフェニトロチオンのラットおよびマウスに対するLD_{50}値は経口投与で20,000 mg/kg以上，経皮投与で5,000 mg/kg以上であり，MC化することによってフェニトロチオンの毒性をさらに軽減させることがわかる．このような毒性の軽減は有効成分がMC膜内に完全被覆されていることに起因している．また，カプセル膜は実用散布条件において

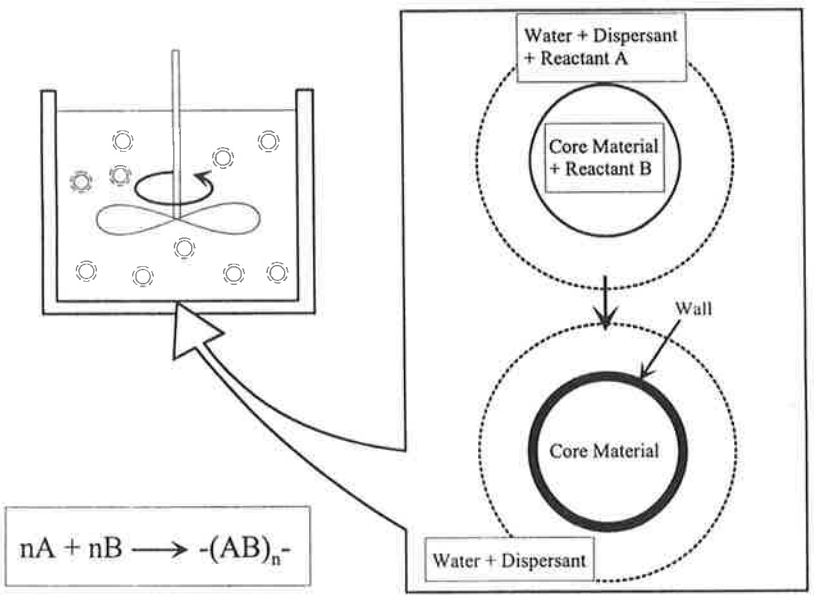


Fig. 2 Process of manufacturing microcapsule formulation (Interfacial polymerization method, TSUJI *et al*, 1989).

Table. 1 Acute oral and dermal toxicities of fenitrothion and fenitrothion MC (TSUJI *et al*., 1989)

Species	Administration way	LD_{50} (mg/kg)			
		Fenitrothion MC		Fenitrothion	
		Male	Female	Male	Female
Rat	Oral	＞20000	＞20000	330	800
	Dermal	＞5000	＞5000	890	1200
Mouse	Oral	＞20000	＞20000	1030	1040
	Dermal	＞5000	＞5000	＞2500	＞2500

も破壊されることはなく，散布時におけるフェニトロチオンの気中濃度は検出限界（42 μg/㎥）付近あるいはこれ以下であった．さらに，噴霧ミストの粒径は約155 μmに達する巨大なものであり，吸入による影響はほとんどないものと考えられる（辻ら，1989）．

MC化殺虫剤の応用用途と害虫に対する作用機構

1．ゴキブリ防除用途

フェニトロチオン（*O, O*-dimethyl *O*-4-nitro-*m*-tolyl phosphorothioate）は広い殺虫スペクトラムを持ち，農業害虫・林業害虫ばかりでなく，ハエ・カ・ゴキブリなどの衛生害虫防除用としても古くから使用されている汎用性の高い有機リン剤である．本化合物はゴキブリ防除用の残留散布剤として頻繁に使用されてきたが，比較的環境中で消失しやすいために長期の残効性を期待することはできなかった．シフェノトリン（(*RS*)-α-cyano-3-phenoxybenzyl (*1R*)-*cis, trans*-chrysanthemate）はフェノトリン（3-phenoxybenzyl (*1R*)-*cis, trans*-chrysanthemate）のアルコール部分にシアノ基を付加することにより，より高い殺虫性能を実現させたピレスロイド剤であるが（Itaya *et al.*, 1983），同系統のピレスロイドであるシペルメトリン（(*RS*)-α-cyano-3-phenoxybenzyl (*1RS, 3RS*；*1RS, 3RS*)-3-(2, 2-dichlorovinyl)-2, 2-dimethylcyclopropanecarboxylate）等に比較すると，やはり残効性に劣る欠点を有している．そこで，われわれはこれらの化合物をMC化することによって，長期間の残効性を付与した2製剤を開発するに至った（ゴキブリ用スミチオン®マイクロカプセルおよびGokilaht®10MC）．

MC剤開発の初期段階における最適製剤のスクリーニングの過程で，われわれはフェニトロチオンMC剤のゴキブリに対する主な効力発現機構が，ゴキブリによる踏みつぶし効果（Trampling effect）であることを見出した．その効果は，MC剤の強度のパラメーターとして提唱されたD/T値（カプセルの粒径Dと膜厚Tの比）により制御される．すなわち，D/T値が小さくなるにしたがってゴキブリの踏みつぶしによるカプセルの破壊が小さくなり，残効性が向上することを示した（Ohtsubo *et al.*, 1987およびTsuda *et al.*, 1987；Fig. 3）．また，乳剤等の製剤が効力の持続性に欠ける最も大きな原因は，これらの製剤が吸収性の面において比較的速やかに吸収されてしまうこと，およびこの化合物が分解・揮散等により消失することがこれまで知られていたが，これらに加えてゴキブリ虫体による過剰な薬剤の持ち去りが第三の大きな原因であることを明らかにした（Kawada *et al.*, 1990；Fig. 4）．そして，殺虫

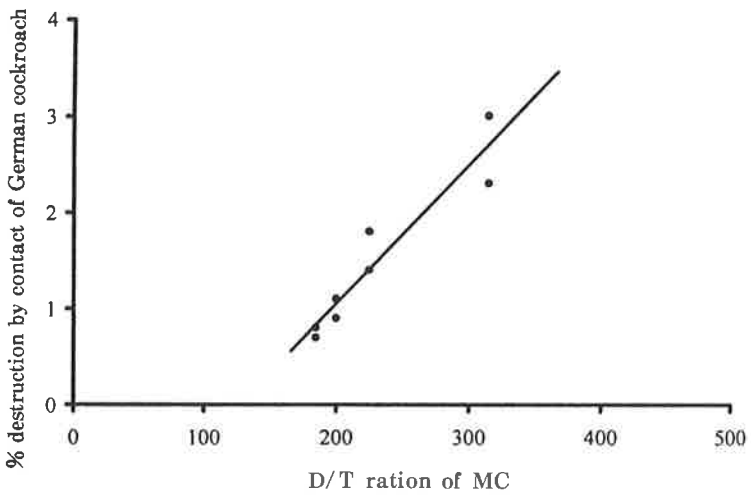


Fig. 3 Relationship between the D/T ratio and the strength of microcapsules. The strength of microcapsules is expressed as the percentage of destruction of capsule particles after 2 hr contact of German cockroaches on the MC treated glass surfaces.

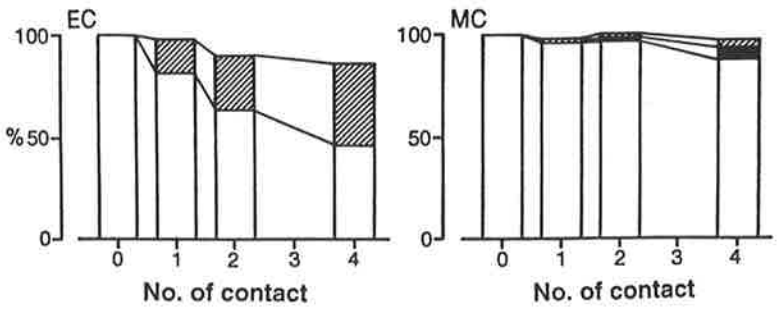


Fig. 4 Changes in the trampling rate of the fenitrothion microcapsules and the amount of fenitrothion picked up by cockroaches. MC, microcapsules ; EC emulsifiable concentrate. □: Fenitrothion remained on the surface, ■ : Fenitrothion picked up by insects, □ : Fenitrothion outside MC on the surface (KAWADA *et. al.*, 1990).

剤をMC化することにより薬剤の処理面への吸収や分解・揮散を抑制するばかりでなく，カプセルのD/T値を最適化することにより，ゴキブリ虫体による持ち去り量を最適な量に調節し得ることを見出した．さらにわれわれは，MCのゴキブリによる踏みつぶし効果に次ぐ主な効力発現機構として，カプセル粒子の経口的な摂取による効果があることを，蛍光顕微鏡やオートラジオグラムを用いた観察によって証明した（KAWADA *et al.*, 1990 ; Fig. 5, 6）．すなわち，ゴキブリがMC処理面に接触することにより，微小なMC粒子がゴキブリの附節等に付着し（Fig. 7），これがゴキブリのグルーミング行動により経口的に体内に取り込まれ，そ嚢の中でカプセルが破壊されて殺虫効力が発現するという作用経路である．このことは，SAKURAI *et al.* (1982) がダイアジノンMC剤の効力発現機構として提唱したものと基本的には同じものである．

Fig. 5 Whole-body autoradiogram of a German cockroach that came contact with plywood surface treated with ^{14}C-labeled fenitrothion microcapsules. The black spots on the crop wall are microcapsules ingested (KAWADA *et al.*, 1990).

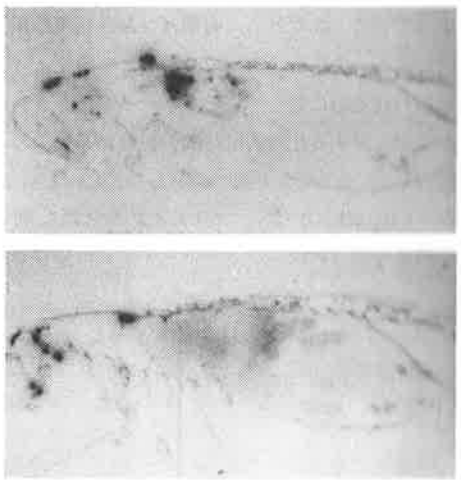


Fig. 6 Whole-body autoradiogram of a German cockroach given ^{14}C-labeled microcapsules orally, A, 30 min. after administration ; B, 150 min. after administration (KAWADA *et al.*, 1990).

フェニトロチオンMC剤の開発が軌道に乗ってきた段階で，われわれは有機リン剤とは殺虫作用の異なるピレスロイド化合物を含有するMC剤のゴキブリ防除用途への開発に着手した．その結果，シフェノトリンを含有したMC剤（Gokilaht® 10MC）のゴキブリに対する最適なD/T値がフェニトロチオンMCのそれに比べて大きくなる（破壊されやすくなる）ことを見出した．この現象は，ピレスロイドと有機リン剤の殺虫作用の相違

Fig 7 Microcapsule particles observed on the tarsi of a German cockroach after contact with MC treated surface.

によっている．すなわち，有機リン剤は殺虫作用が不可逆的であり，少量の成分への継続的な接触により殺虫効果が現われるのに対して，ピレスロイドはある一定量以上の薬量に対する比較的短時間の接触が必要であることに起因していることを実験的に示した（KAWADA *et al.*, 1993；Fig. 8）．さらに，シフェノトリンＭＣ剤の経口摂取による効力発現はフェニトロチオンＭＣほど大きくないことを示し，この２種の薬剤の作用性の違いに起因していることを明らかにした．

有効成分の特性によってカプセル粒子の設計が決定されるという現象は，本研究によって初めて明らかにされた事実であり，今後のマイクロカプセル化殺虫剤の開発において有益な情報となった。

飛翔性害虫防除用途

残留散布は，マラリア媒介蚊防除の有効な方法として現在もさまざまな地域で採用されている．1940年代の中期より，DDT に代表される有機塩素系化合物が残留散布用の殺虫剤として現在でも使用されている．しかし，屋外における使用がまったく禁止されている薬剤を屋内で使用することに対する批判が急速に高まっている以上，DDT に対する力の生理的・行動的な抵抗性の発達により，これがもはや有効な剤とは言えなくなってきているのが現状である．そこで，DDT に代わるより有効な薬剤の開発が望まれている．本来マラリア媒介蚊防除を目的とした残留散布とは，吸血後のカが壁面で休止する行動を利用したものであるため，昆虫に対する接触忌避性を有するピレスロイド剤はこのような目的には適していない．また，散布コストをできるだけ下げることも重要

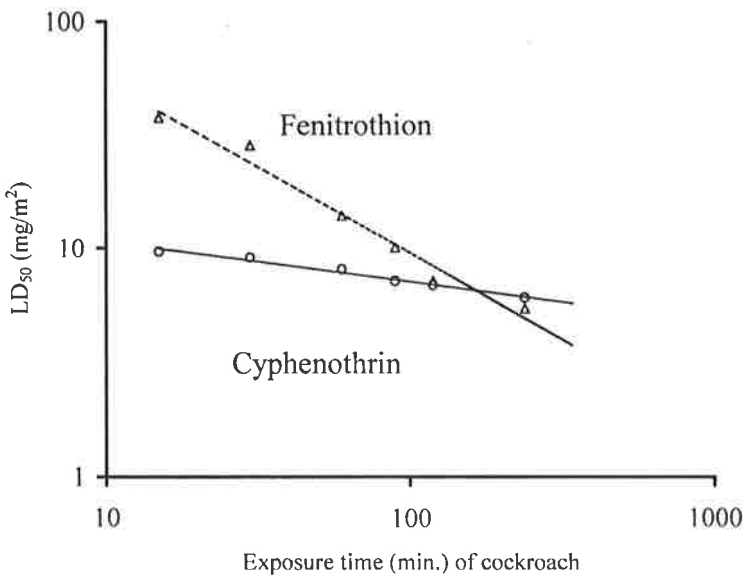


Fig. 8 Killing activity of cyphenothrin and fenitrothion against the German cockroach by definite time contact to the treated surfaces (KAWADA *et al.*, 1993).

なポイントになる．このような理由から，薬剤コストの比較的低い有機リン剤やカーバメイト剤がDDTに代わるものとして有望視される．現在，フェニトロチオンを含有した水和剤（Sumithion® 40WP）が多くのマラリア発生地域において使用されているが，処理面が土壁や木材などの吸収面である場合，壁材への吸着によって殺虫効果が低下し，1年に2回から3回の処理を必要とするためにコスト高となる．その上，壁面の汚れや有機リン剤特有の臭いによって散布ができない場合があるという問題がある．

上記の問題点を克服するために，われわれはゴキブリ防除用MC剤に次いでハエ・カなどの飛翔性害虫，中でもマラリアの媒介蚊であるハマダラカの防除を目的としたフェニトロチオンMC剤を，ゴキブリ防除用MC剤とはまったく異なった設計で開発した．その結果，従来の破壊型のMCとは膜の性状が異なり，有効成分がカプセル膜を通して浸透する分散型のMCが設計できることを見出し，破壊型のMCでは実現できなかった，ハエ・カなどの飛翔性害虫のMCによる防除を可能にすることができるようになった．

フェニトロチオンを含有した分散型MC剤は，カの成虫に対して従来の水和剤を2倍以上も上回る持続効果を示すばかりでなく（Table 2，3），処理面の汚れも水和剤に比べ目立たなくなるというメリットを持っている（KAWADA *et al.*, 1994, 1995；Fig. 9）．また，分散型のMCにすることによって，フェニトロチオンに特有な殺虫効果である“Air borne”効果，すなわち，カが直接処理面に接触することなく致死する効果もある程度合わせ持つことが明らかにされた（KAWADA *et al.*, 1994, Table 4）．さらに，MC化することにより散布

Table 2 Residual contact efficacy of fenitrothion microencapsulated and wettable powder against *Culex pipiens pallens* on the various surface materials (KAWADA *et al.*, 1994)

Formulation	Dosage (g/m² AI)	Material	% mortality at different weeks after treatment						
			0	4	12	20	28	36	48
Micro-encapsulated	2	Plywood	100	100	100	100	100	100	100
		Overlaid	100	100	100	100	100	100	100
		Unglazed	100	100	100	100	96.7	100	96.7
		Mud	100	100	90.0	93.3	83.3	93.3	70.0
	1	Plywood	100	100	100	100	100	96.7	100
		Overlaid	100	100	100	100	100	100	100
		Unglazed	100	100	100	100	93.3	89.7	92.9
		Mud	96.0	90.0	96.7	80.0	30.0	46.7	—
	0.5	Plywood	100	100	100	100	86.7	48.3	40.0
		Overlaid	100	100	100	100	100	100	96.7
		Unglazed	100	100	100	86.7	90.0	73.3	96.7
		Mud	85.0	66.7	60.0	33.3	—	—	—
	0.25	Plywood	100	100	80.0	70.0	66.7	36.7	—
		Overlaid	100	100	100	100	100	69.0	76.7
		Unglazed	100	100	100	80.0	90.0	33.3	—
		Mud	34.0	46.7	30.0	—	—	—	—
Wettable powder	2	Plywood	100	100	100	100	100	100	100
		Overlaid	100	100	100	100	100	100	100
		Unglazed	100	100	100	100	100	100	86.7
		Mud	100	100	53.3	0	—	—	—
	1	Plywood	100	100	100	100	100	100	100
		Overlaid	100	100	100	100	100	100	100
		Unglazed	100	100	100	69.0	—[1)]	—	—
		Mud	100	0	—	—	—	—	—

1) Mortality reduced to 23.3% at 24 weeks.

Table 3 Residual 10 min. contact efficacy of fenitrothion microencapsulated and wettable powder against *Anopheles albimanus* on the various surface materials (KAWADA *et al.*, 1995)

Formulation	Dosage (g/㎡ AI)	Material	% Mortality at different weeks after treatment							
			0	4	12	20	28	36	44	52
Micro-encapsulated	2	Plywood	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	96.6
		Unglazed	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	96.7	93.3	100.0
		Mud	100.0	96.3	96.7	80.0	86.7	37.9	—	—
	1	Plywood	100.0	100.0	100.0	100.0	93.3	90.0	80.0	67.9
		Unglazed	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Wettable powder	2	Plywood	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	82.8
		Unglazed	100.0	100.0	100.0	96.6	10.0	—	—	—
		Mud	100.0	53.6	6.7	—	—	—	—	—
	1	Plywood	100.0	100.0	100.0	100.0	93.3	83.3	90.0	6.9
		Unglazed	100.0	100.0	90.0	26.7	—	—	—	—

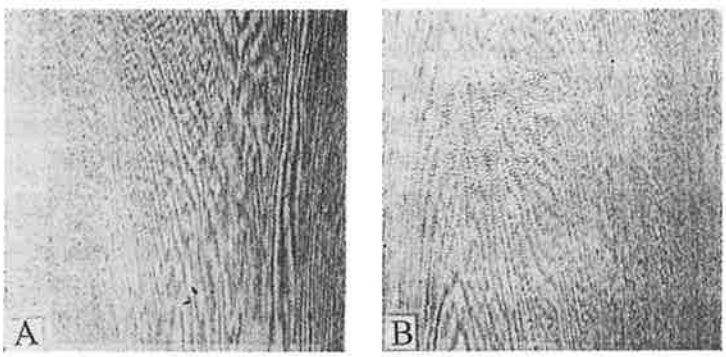


Fig. 9 Surface appearance of overlaid plywood panels after spraying with 5 times suspension of 20% MC (A) and 20 times suspension of 40% WP (B) at the rate of 50 ml/㎡. The amount of fenitrothion on each panel was calculated to be 2 and 1 g/㎡ (AI), respectively (KAWADA *et al.*, 1994).

者の被曝量も軽減されることが期待できる．従来より有機リン剤は土壁などの吸収面において効果が低下することが経験的にわかっていたが（BRUCE-CHWATT, 1985），この原因が壁材中での分解なのか，あるいは壁材への吸着なのかについては不明確であった．この分散型MC剤の開発研究の過程で，われわれは土壁に処理されたフェニトロチオンが，化粧板面やベニヤ板面に処理されたフェニトロチオンに比べむしろ安定して存在しているという事実から，土壁面での効果低下の原因が壁材への吸着であることを証明するとともに（KAWADA *et al.*, 1994；Table 5），MC化することによってこの吸着を軽減できることを明らかにした．さらに，ベニヤ板面や化粧板面等の比較的吸着性の低い処理面においては，フェニトロチオンの揮散と分解が効力低下の原因となるが，MC化はこのいずれをも抑制することがわかった（KAWADA *et al.*, 1995；Table 6）．本製剤がいかにしてカ成虫に対して致死活性を示すかについては不明の部分が多いが，ゴキブリ防除用MC剤に見られたと同様な，カ成虫の接触によるカプセル粒子の破壊が起こっていることは事実である（KAWADA *et al.*, 1995；Fig. 10）．

Table 4 Residual non-contact efficacy of fenitrothion microencapsulated and wettable powder against *Culex pipiens pallens* (KAWADA *et al.*, 1994)

Formulation	Dosage (g/㎡ AI)	Exposure time (h)	% Mortality at different weeks after treatment						
			0	4	9	21	30	40	47
Micro-encapsulated	2	24	100	100	100	100	100	100	100
		2	100	100	100	100	100	100	93.3
	1	24	100	100	100	100	100	100	100
		2	100	83.3	86.7	100	96.7	96.7	13.3
Wettable powder	2	24	100	100	100	100	100	100	100
		2	100	100	100	100	100	100	93.3
	1	24	100	100	100	100	100	100	100
		2	100	100	86.7	50.0	76.7	80.0	33.3

Table 5 Stability of fenitrothion on the various surfaces after spraying of three different formulations (KAWADA *et al.*, 1994)

Surface Material	Sample	Fenitrothion on a panel[1)2)] at different days after treatment				
		0	15	30	90	180
Plywood	MC	1.01 (0.94−1.08)	0.82 (0.80−0.85)	0.75 a (0.67−0.83)	0.52 a (0.50−0.53)	0.47 a (0.38−0.56)
	WP	1.00 (0.89−1.10)	0.80 (0.79−0.82)	0.63 b (0.62−0.65)	0.43 b (0.39−0.47)	0.40 b (0.639−0.41)
	EC	1.00 (0.95−1.04)	0.79 (0.77−0.80)	0.66 (0.66−0.67)	0.47 (0.46−0.47)	0.42 (0.41−0.42)
Overlaid plywood	MC	0.97 (0.78−1.17)	0.96 (0.93−0.99)	0.95 a (0.91−0.99)	0.77 a (0.77−0.77)	0.65 a (0.58−0.71)
	WP	0.94 (0.91−0.97)	0.80 (0.69−0.90)	0.82 (0.81−0.83)	0.66 (0.58−0.74)	0.43 (0.34−0.52)
	EC	0.99 (0.90−1.08)	0.78 (0.74−0.83)	0.81 b (0.78−0.84)	0.62 b (0.48−0.77)	0.34 b (0.29−0.39)
Mud	MC	0.94 (0.94−0.94)	0.99 (0.97−1.02)	0.94 (0.92−0.96)	0.96 a (0.87−1.05)	0.90 (0.73−1.06)
	WP	0.95 (0.92−0.99)	0.95 (0.86−1.03)	0.92 (0.91−0.94)	0.87 b (0.85−0.89)	0.83 (0.79−0.88)
	EC	0.97 (0.93−1.01)	0.94 (0.94−0.95)	0.93 (0.89−0.97)	0.89 (0.88−0.89)	0.83 (0.72−0.94)

1) Values followed by different letters are significantly different ($P<0.1$).
2) Numbers in parentheses indicate 95% fiducial limits.

WHOや多くのマラリア学者達は，DDT感受性系統のカが生息する地域におけるDDTの屋内残留散布の禁止に対して依然として反対している（CURTIS *et al.*, 1987）．その理由はDDTの低いコストにある．しかし，一方では，環境学的・毒性学的見地からDDTの使用禁止を訴える動きもある．フェニトロチオンMCは，少なくとも作業コストをDDTのレベルにまで下げられることは確実であり，これに加えて臭いや壁の汚染の低減あるいは散布者に対する安全性の向上といったメリットを兼ね備えている．今後はこういった経済コスト以外のソ

Table 6 Evaporation rate of fenitrothion from overlaid plywood surface with microencapsulated, wettable powder and emulsifiable concentrate formulations (KAWADA *et al.*, 1995)

Formulation	% after 1 month				% after 6 months			
	remain in open condition	remain in closed condition	decomposed [1]	evaporated [2]	remain in open condition	remain in closed condition	decomposed	evaporated
Microencapsulated	97.7	100.0	0.0	2.3	66.7	100.0	0.0	33.3
Wettable powder	87.3	100.0	0.0	12.7	45.8	85.6	14.4	39.8
Emulsifiable concentrate	82.0	100.0	0.0	18.0	34.2	88.8	11.2	54.6

[1] % decomposed = 100 − % residue in closed condition.
[2] % evaporated = % residue in closed condition − % residue in open condition.

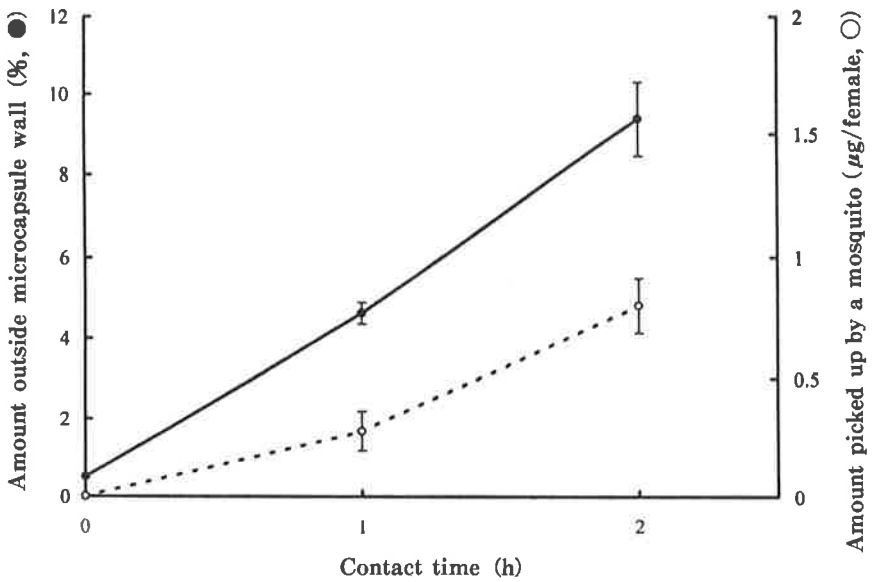


Fig. 10 Changes in the amount of fenitrothion outside the microcapsule wall (●) and that picked up by a mosquito (○) after contact of *Culex pipiens pallens* female adult to the glass surface on which fenitrothion MC was treated at the rate of 1 g/m² as active ingredient. Each bar indicates 95% fiducial limit (KAWADA *et al.*, 1995).

フト面も考慮に入れたマラリア媒介蚊対策が必要となってくるであろう.

おわりに

以上，われわれがゴキブリ防除および飛翔性害虫防除を目的として開発研究を進めてきたMC剤の概要について述べたが，ここで得られた新知見が，今後ますます必要とされるようなクリーンで効率的な害虫防除法の発展にとって，少しでも有益なものとなることを期待したい．MC化技術の進歩は日進月歩であり，たとえば温度やpHといった外的環境の変化によって膜の性質が変化したり，透過する物質を選別するような膜を持ったマイクロカプセルをつくる技術もすでに存在する．残された問題は，いかにこれを目的とする用途に利用するかというソフト面の研究である．たとえば，先に述べたシフェノトリンMCは，フェニトロチオンMCに比べ破壊されや

すい粒子設計になっているが，このために処理面上における残効性は乳剤等の液剤を非吸収面に処理した場合の残効性を上回るものにはならない．このことは，考えようによっては，不必要な残効性の付与による害虫の薬剤抵抗性発達を予防することになるかもしれない．これを裏付けるような実験結果は今のところ得られていないが，たとえば，チャバネゴキブリの生活史を考えた場合，2～3ヶ月の寿命を越えるような長期の残効性は，明らかに抵抗性の発達を助長させるものであることは否定できない．われわれの研究は，残効性の短い殺虫剤にいかにして長期の残効性を持たせるかということからスタートしたが，その結果としてカプセルの設計によりさまざまな特質を製剤に付与することができることを学んだ．冒頭に述べたように，残留散布そのものは既に過去の技術となりつつある．今後は，これまで得られた知見を眠らせることなく最先端の防除技術に逐次生かしていく必要があろう．

最後に，本研究を行うにあたり多大な協力と助言を賜った住友化学工業株式会社農業化学品研究所の諸氏，そして研究奨励賞選考にあたってご尽力いただいた日本環境動物昆虫学会賞選考委員ならびに評議員の方々に深く感謝の意を表するものである．

引用文献

BRUCE-CHWATT, L. J. (1985) Essential malariology. John WILEY and Sons, New York. p. 452.

CHADWICK, P. R. (1985) Surfaces and other factors modifying the effectiveness of pyrethroids against insects in public health. *Pestic. Sci.* **16**：383－391.

CURTIS, C. F. and J. D. LINES (1987) Insecticides in the management of insect vectors of tropical disease. *Insect Sci. Applic.* **8**：709－714.

ITAYA, S, N. MATSUO, Y. OKUNO and H. YOSHIOKA (1983) Evolution of pyrethroids containing 3-phenoxybenzyl group. *Nippon Nougeikagaku Kaishi* **57**：1147－1153.

KAWADA, H., M. MAKITA, S. TSUDA, T. OHTSUBO, G. SHINJO and K. TSUJI (1990) Efficacy and the way of action of fenitrothion microcapsules for cockroach control. *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.* **2**：6－13.

KAWADA, H., T. OHTSUBO, S. TSUDA, Y. ABE and K. TSUJI (1993) Insecticidal characteristics of cyphenothrin microcapsule for cockroach control. *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.* **5**：65－72.

KAWADA, H., M. OGAWA, T. ITOH, Y. ABE and K. TSUJI (1994) Laboratory evaluation of fenitrothion microcapsules as a new residual spraying formulation for mosquito control. *J. Am. Mosq. Control Assoc.* **10**：385－389.

川田　均・伊藤高明（1994）ゴキブリ防除における殺虫剤について．家屋害虫　**16**：18－24.

KAWADA, H., M. OGAWA, T. ITOH and Y. ABE (1995) Biological and physiological properties of fenitrothion microcapsules as a residual spraying formulation for mosquito control. *J. Am. Mosq. Control Assoc.* In press.

OHTSUBO, T., S. TSUDA, H. KAWADA, Y. MANABE, N. KISHIBUCHI, G. SHINJO and K. TSUJI (1987) Formulation factors of the fenitrothion microcapsule influencing the residual efficacy against the German cockroach. *J. Pestic. Sci.* **12**：43－47.

RUST, M. K. and D. A. REIERSON (1988) Performance of pyrethroids against German cockroaches *Blattella germanica* (L.) (Dictyoptera：Blattellidae). *Bull. Soc. Vector Ecol.* **13**：343－349.

SAKURAI, M., M. KUROTANI, S. SASAKI, T. UMENO and T. IKESHOJI (1982) Characteristic effects of the microencapsulated diazinon against the German cockroach, *Blattella germanica* L. *Jpn. J. Saint Zool.* **3**：301－307.

TSUDA, S., T. OHTSUBO, H. KAWADA, Y. MANABE, N. KISHIBUCHI, G. SHINJO and K. TSUJI (1987) A way of action of the fenitrothion microcapsule as a residual cockroach control formulation. *J. Pestic. Sci.* **12**：23－27.

辻　孝三・新庄五朗・伊藤高明・津田重典・高橋尚裕　1989－Ⅰ：4－25.
(1989) スミチオン®マイクロカプセル　住友化学