

Kontyû, Tokyo, 45(4): 451-458. December 25, 1977

昆虫生態学の現状

日本における最近10年間の進歩を中心に

伊藤 嘉昭

沖縄県農業試験場

Yosiaki Itô: Insect Ecology, with Special Reference to the Progress in Japan during Recent Ten Years

1967年、日本昆虫学会創立50周年にさいして、内田は当時の日本の昆虫生態学のなかで特筆すべきこととして、個体数分布型の統計学的研究、集合効果、密度の増減に伴う個体の性質の変化の3研究分野における進歩、および野外の個体群動態研究の発足の4項をあげた。他のあらゆる分野同様、その後10年間の昆虫生態学の進歩は著しい。とくに日本では、昆虫の生態学者は日本の動物生態学の中核として、発表される全業績の半分以上を創り出してきた。ここでは、極度に限られた紙面ではあるが、その後10年間の日本における進歩を、世界の情勢と対比しつつ考えてみた。

I. 個体群調査法——統計学的研究

物理のなかで理論物理学がとくに進歩したのは日本の研究費の貧困のためだともいわれるが、生態学でも、野外研究よりむしろ統計学的な調査法研究が先行し「日本の昆虫学者は数学が出来る」ということばが外国の学者からしばしば発せられた。

本会創立50周年に先立つ10年間におけるこの分野で際立った寄与は、森下 (MORISITA, 1959) による I_s 示数 (欧米では通常 MORISITA'S index という) の発見であったが、その次の10年間における最大の寄与は巖 (IWAO, 1968) の平均値・平均こみあい度回帰法の提案であろう。

平均こみあい度 (mean crowding) という大変便利な示数* そのものは、アメリカの LLOYD (1967) によって提出された。しかし、巖が昆虫の大部分の分布型において、平均値と平均こみあい度のあいだに一定の直線関係 (分布型により異なる切片, 角度を持つ) が成立することを明らかにしたことによって始めて、この示数は個体群解析の強力な武器となった。この示数を用いての統計的技術の開発は巖と久野によって精力的にすすめられ、十数篇の原著論文が発表された。このなかで、当初分布型の解析法 (IWAO & KUNO, 1971) として出発したこの方法は、特定の分布モデルを仮定することを要しない便利な必要標本数決定法 (IWAO & KUNO, 1968, 1971; KUNO, 1969), ちく次抽出法 (IWAO, 1975), 死亡過程の密度依存性 (いわゆる密度効果) 解析法 (IWAO, 1970, '72) などへと発展し、たくさんの若手研究者によって野外研究の武器として使われつつある。さらに最近 IWAO (1977) は2種の昆虫の空間的分布の重なりあいという群集生態学的課題にもこの示数の適用が有効であることを示し、あわせてひとつのすぐれた種間関係を表現する示数—— ω 示数——を提案している。

そもそも R. A. FISHER らによって練りあげられた近代統計学は正規分布をその根幹としている。

* 'exponential' と区別するため筆者は指数のかわりに示数と表記している。

しかし連続量(草丈など)を扱う正規分布と違って、昆虫の数は0匹, 1匹, 2匹, ……というとりとびの量(離散量)であり、またマイナスの個体数というものはない。このことから当然、正規分布を基準としない新しい統計学の発展が必要とされた。ポアソン分布や負の2項分布を利用する統計処理は、欧米を中心に、この目的のために発展させられたのであるが、昆虫にしても他の動物にしても、なかなか特定の分布型には適合しないといううらみがあった。Is示数法と平均値・平均こみあい度回帰法という二つの方向が日本において開発されたことは、昆虫個体群調査法の進歩にとどまらず離散量の統計的取扱いへの道を大きく広げたことを意味するのである。

統計学のもうひとつの分野に、虫にマークをして放って、その再捕獲数から野外の個体数や生存率を推定しようという、いわゆるマーキング法(標識再捕法)がある。この方法の主要なモデルは、元来生態現象への関心が深かった英語圏の専門統計学者によって提出されたが、農業技術研究所昆虫科第2研究室(Itô *et al.*, 1963; NAKAMURA *et al.*, 1971等)や巖ら(IWAO *et al.*, 1963, '66)により野外の昆虫に精力的に適用され大きな成功をおさめた。その過程で巖らは、1回以上捕った全個体に関するデータと2回以上捕った個体のみに関するデータの関係を解析に利用するいわゆる再々捕獲法(re-recapture method)を独自に発展させた。またItô(1973)は一度にたくさんの個体にマークをつけて離し、それを何回にもわたってトラップでとらえるような場合に役立つ一つのモデルを提案した。このモデルはのちに浜田(HAMADA, 1976)によって改良されている。

マーキング法と関連するもうひとつの分野は移動・分散の解析である。井上ら(INOUE *et al.*, 1973)はイヨシロオビアブ *Tabanus iyoensis* 成虫に個体識別マークをつけて放してその行動を追ひ、その結果をいくつかのモデルによって解析して1日あたり平均移動速度130 m, 生存率73%などの値を得た。また彼は、とう写刷のひとつの論文(井上, 1972)で動物の移動・分散の数学的取扱いを総説したが、これは当時の時点で最もすぐれたこの問題の総説だったと考えられる。

統計学に関連するもうひとつの分野は、野外の生命表データを用いた個体群調節過程——すなわち密度依存過程——の果す役割の判定法である。この分野では、カナダのMORRIS(1963)が提案した方法がひろく用いられてきた。この方法はある時点の個体数の対数と、その次の時点の個体数の対数との直線回帰式を計算し、その回帰係数から密度依存性の強さを判定しようとするものだが、さまざまな統計学的難点を含み、1970年前後から批判が始っていたものである。しかし、サンプリング誤差、時系列の影響などの広い統計学的検討から、この方法は世代間の個体数変動過程の解析には用いるべきでないこと、また世代内の変動にも厳重な条件を付して用いるべきことを述べたのはItô(1972)の総括的論文であった。またKUNO(1971)は後の場合についてサンプリング誤差の影響を補正する方法を提案し、同時に諸外国でMORRIS法のような批判をそれまで受けていなかった他の密度依存性判定法、すなわちVARLEY & GRADWELL(1963)のk法にも、適用のしかたによっては重大な解釈の間違いが発生しうることを示した。

最後に、現在日本にいない蠟山朋雄(在カナダ)が、食うものと食われるものの相互関係に関する広汎なレビューを行い、いくつかの新らしいモデルを提出したことも付言したい(ROYAMA, 1971)。氏の論文はLOTKA-VOLTERRA以来の、この問題のモデル研究の金字塔とでもいふべきものであり、事実、最近数年間に世界で最も頻繁に引用された生態学文献のひとつだと思われる。

II. 野外の個体群動態研究

昆虫生態学における‘戦後’は、カナダのグリーンリバー・プロジェクト(MORRIS, 1963—ed.)に始まるというて良い。生命表の作製を中心とする大規模かつ長期の野外個体群の調査が、これ以後

急速な発展を見せる。代表的な研究は VARLEY, GRADWELL & HASSELL (1973) や DEMPSTER (1975) の教科書で詳しく紹介されている。また、これと前後して、システム分析の手法が生態学に取込まれ (例・WATT, 1968), 総合防除のシステムモデルも提案され始めた。ところで内田 (1967) はぼう大な発生予察資料の蓄積されているイネ害虫について個体群動態に関する解析的研究があまり行われていないことを指摘していた。その後の 10 年間に、この空白の一部分は埋められてきた。

まず、最も重要な害虫でありながら、個体群動態が殆どわかっていなかったツマグロヨコバイ、トビイロウンカ、セジロウンカについて、当時九州農試に在職していた久野 (1968) がすぐれた研究を行った。かれは長年にわたって、炎天下に重い動力吸虫機を背負って水田を歩き廻る苛酷な野外調査を行い、その結果をかれ自身が考案した統計学的方法で分析したのである。その結果、ツマグロヨコバイにおいては、春世代から夏世代へかけての増殖に著しい密度依存的抑制が見られる (このため毎年夏のツマグロヨコバイ発生数は著しく安定している) いっぽう、トビイロウンカでは殆どこうした増殖抑制が見られず、春の飛来虫数が多ければ多いほど秋には高密度に達することが明らかにされた (KUNO & HOKYO, 1970 も参照)。基本的に同じ結果は高知県農林技術研究所でも得られている (KIRITANI *et al.*, 1970)。トビイロウンカの上述の特性は本種が春、中国大陸から飛来するという主張 (岸本, 1975) と相俟って、本種の異常発生の特質を良く説明している。

前記内田の総説でもとりあげられたミナミアオカメムシの研究をひきい、そのなかで野外においても密度調節が実際に見られることを証明した桐谷 (桐谷, 法橋, 1970 に全文献が出ている) は 1966 年高知の指定試験にうつり、ここでツマグロヨコバイと黄萎病の関係 (NAKASUJI & KIRITANI, 1972), ツマグロヨコバイとクモの関係 (SASABA *et al.*, 1973) などのシステムモデルを作製した。これらは日本における害虫防除のシステム化の先鞭となるものである。シミュレーションの防除への適用としては、大串の長年にわたる長崎県農林センターでの調査結果を用いた INOUE & OHGUSHI (1976, '77) のヤノネカイガラムシの総合防除モデルもある。

1950 年代に昆虫生態学における生命表と生存曲線の重要性を強調した伊藤は、1966 年以後アメリカシロヒトリの個体群動態研究に取り組み、集合性昆虫である本種がきわめて特殊な生存曲線型を持つこと、小鳥とアシナガバチとがもっとも重要な個体数制限要因であるが、これらの天敵の働らきはしばしばアメリカシロヒトリの密度に逆依存的に作用するため、これが本種の大発生が大きな波を打つ漸進大発生型となる原因となっていることなどを示した (ITÔ *et al.*, 1969)。また彼らは個体数変動を予測するモデルを作ったが、そこから明らかになったことは、アメリカシロヒトリの個体数変動において自種の密度効果を含む生物的要因が、気候に比してより重要であろうと考えられることであった。この結論はミナミアオカメムシ、ツマグロヨコバイともほぼ一致しており、日本において、昆虫の数を考えるときはまず気候に目を向ける、という従来のあるかたに批判を投げかけるものである。*

1972 年沖繩が日本に復帰し、農林省の指定試験事業によるサトウキビ害虫の生態研究が始った。そこで取りあげられたセミの害虫化の問題は、生態学上極めて興味がある。沖繩にはイワサキクサゼミ *Mogannia minuta (=iwasaki)* が戦前からススキ原などに生息していたが、1960 年代のなかばから、突然これがサトウキビ畑に発生しはじめ、1 m² の羽化成虫数 200~400 匹、同面積あたり産卵数 5 万粒以上という著しい高密度に達した。しかもこの異常発生はいったん始るといつまでも続き、現在まで石垣島では 8 年以上、沖繩本島の一部では 5 年以上にわたって高密度が維持されて

* ミナミアオカメムシとアメリカシロヒトリの研究は伊藤・桐谷 (1971) に詳しく紹介されている。

いる(伊藤・長嶺, 1976). 長嶺・照屋(1976)はこのセミの生活史を明かにし, NAGAMINE *et al.* (1975)は生命表を作製して, 孵化直後の幼虫のアリによる捕食が最も重要な死亡要因であろうと考えた. また ITÔ & NAGAMINE (1974)は沖縄本島内のこのセミの地理的分布が大発生地帯から突然発生ゼロ地帯へ変るといふ特殊な様相を呈していることを示し, これが大き発生地帯における天敵からのエスケープによるのでであろうと考えた(伊藤・長嶺, 1976はアメリカの周期セミの現象とイワサキクサゼミの場合との比較考察を行っている).

現在のところ, このセミの個体数が急増した最初の原因は断定できない(長嶺ら, 1976, は塩素系殺虫剤多用によるアリの死滅と, 労賃高騰による圃場耕起回数の減少が関与したのであろうと推測している). しかしいったん大発生したとき, 本種は周期セミの大発生と同様に, あらゆる天敵からエスケープし, かくして大発生が継続するいっぽう, 各種天敵が働いている発生ゼロ地帯とのあいだに急激な密度勾配が見られることになっているのであろう. だが大発生の中心部においては, それ以上の密度上昇を抑える何らかの機構が必要であり, この面の研究は現在行われつつある.

III. 生態学の応用——ウリミバエの根絶

十数年前から昆虫生態学者は, 当時の農業一辺倒による害虫防除に対して批判を行ってきた. しかし, 農業を用いないか僅かしか用いない防除の実際面に生態学者がかかわる機会は殆ど存在しなかった.

沖縄の復帰後, 農林省は沖縄本島西方約 80 km の洋上の久米島(面積 58 km², 人口 1 万人)から不妊虫放飼法によって害虫ウリミバエ *Dacus cucurbitae* を根絶する計画を立て, 石垣島の沖縄農試八重山支場に大量増殖施設が, 沖縄本島の本場にガンマ線照射施設が建てられた. Itô (1973)の数学的モデル(第 I 節)を用いて, まず久米島に生息するウリミバエ総個体数の推定が試みられ, ピーク時には約 250 万匹(オスのみ), 生存率は 1 日あたり 0.85~0.9 であると見積られた. (Itô *et al.*, 1974). ついで誘引剤を用いての抑圧防除の試みのうち, 1975 年 2 月から不妊虫放飼が始った. 諸外国では人工餌と一定条件下での大量飼育と放射線照射が不妊オスの行動・活力におよぼす作用*は実験室のなかでのみ調査され, 野外におけるかれらの生存・移動・性行動の実態は調べられたことがなかった. 沖縄農試ではこの点を明らかにするため, 全不妊虫にマークを付して放飼するとともに, 久米島と対照地区で沢山のメスをとらえ, その産む卵のふ化率を個体別に解析した. このため Itô & IWAHASHI (1976)は久米島と対照地区のメスの卵のふ化率から不妊オス:野生オス率を求める式を, IWAHASHI *et al.* (1976)は産卵したメスの率から不妊メス:野生メス率を求める式を提案し, それらを用いて久米島のデータを解析した. 久米島においては放飼開始後約 1 年間, 殆ど放飼効果があがらなかったが, これは不妊虫の寿命・性的活力に問題があるのではなく, 放飼虫数が不足していることが示唆された(IWAHASHI *et al.*, 1976). そこで一連のモデル計算が行われ, ウリミバエにおいては, 当初の予定週 100 万匹放飼を数倍に増加させるだけで根絶過程が著しく早められる可能性が推定された(Itô, 投稿中). この推定にもとづき 2 度にわたって放飼虫数が増加され, 週 400 万匹の放飼に達して以後, 野外での被害や卵のふ化率は急速に減少した. 毎月 5000 ないし 1 万個の寄主果実を調査しているが 1976 年 10 月には被害果はゼロとなり, それ以来 1977 年 6 月まで, 10 万果以上の調査によっても, 久米島では 1 匹のウリミバエも発見されない. かく

* 最近テキサスの「工場」で生産されるラセンウジバエが恒温条件によって野外のものと重大な遺伝的差異を持つに至り, それが不妊オス放飼の効率を低下させていることが報じられた (BUSH *et al.*, 1976).

してこの実験事業は成功した (IWAHASHI, 1977).

不妊虫放飼法はラセンウジバエなどの華々しい成功にもかかわらず、生態学者の参加が不十分で、根拠なしに放飼虫数が決定され、不成功の場合にもその原因が全くわからない例が多い。久米島の実験事業は、単にそれが 14 年ぶりの成功であったという点で評価されるだけではなく、始めてこの防除法を、不断のアセスメントにもとずいて方針を変更できる体系的な技術とした点に意義があるといえよう。

IV. 進化生態学——今後の課題

以上に日本の昆虫学者の個体群生態学に関する最近 10 年間の業績のおもなものを展望してきた。それは、数学を利用するいくつかの分野で日本の昆虫生態学者が果たした役割が小さくないことを示している。しかし、この 10 年間には、アメリカを中心に大きな進歩が見られながら、日本がそれに充分ついて行けなかった他の数学的分野も見られたことを忘れてはならない。

1954 年 COLE は動物のいろいろな生活史がなぜ自然淘汰されたかを生命表のパラメータ、とくに生存率と年齢別出生率の解析によって明らかにしようと試みた。この先駆的な試みは長いこと忘れられていたが、1960 年代後半になって高く評価され、個体群生態学の立場から生活史の進化を考察しようとする努力があいついで行われた。そのなかで大きな力となったのは鳥学者の MACARTHUR とアリ学者の WILSON の共著 'The Theory of Island Biogeography' (1967) である。*

MACARTHUR & WILSON はこの本のなかで、生物はその進化において相対立する二つの戦略のどちらかの選択に直面するとして、これを r 戦略および K 戦略と呼んだ。前者は物理的条件がきびしく、不安定な環境で発達するもので、多産と早成をおもな特徴とする。後者は安定しているが生存競争のきびしい環境で発達するもので、大きな卵を少し産むか良く子を保護して、競争力の大きい子をつくることを特徴とする。この学説はアメリカでとくに大きな反響を呼び、たちまち数十篇の論文があらわれた。初期には論文の筆者は数学者と鳥など脊椎動物の学者に限られていたが、間もなく生物的防除のための天敵導入戦略をこの理論から考えようとする人達が出てきた (FORD, 1972; PRICE, 1975a)。かれらの主張によると、天敵相の貧弱な侵入直後の害虫に対して恐らく有効なのは、 r 戦略の天敵 (寄主の早い発育段階に寄生するものが多い) であり、ある程度天敵がいるとき更に導入するには K 戦略の天敵が良いだろうという。

r, K 戦略説はいまアメリカの生態学をおおい、手近のものでも WILSON & BOSSERT (1971), PIANKA (1974), PRICE (1975b), WILSON (1975) などの教科書がこの説を議論の中心において編まれている。筆者自身は r, K 戦略説には一定の批判を持っているが (近く発行される『改稿比較生態学』にくわしく書いておいた)、何はともあれ MACARTHUR 一派の説を乗越えずに個体群生態学の大幅な進歩は望めない。そして乗越えるためには雑誌 American Naturalist などでの議論を十分に理解できる新人が多数でてくる必要があると思う。

V. あとがき

「昆虫生態学の現状」と題しながら、個体群生態学だけを論じてきた。ひとつには他の分野の業績がごく限られているためもある。たとえばこの 10 年間は IBP の年であり、多くの生物生産の研究が行われたが特筆に値するものはそう多くない。そのなかで宮下 (MIYASHITA, 1968, '69 など)

* もちろんこの本の中心課題は島の生物相はどのようにして生じるかである (主として数学的モデルからの論議)、そしてこの分野も日本は (島国でありながら) 立ちおけている。

のクモの摂食生態および呼吸代謝に関する一連の研究と松本 (MATSUMOTO, 1976) のマレー半島の熱帯降雨林におけるシロアリの役割を示す仕事とは収穫といえるであろう。

日本では群集の数量的取扱いの仕事が、長年にわたって殆ど断絶していた。最近分類学から群集生態学へと乗り出した木元 (1972 および KIMOTO, 1967) によってこの問題が取上げられ、群集解析法の成書 (木元, 1976) も出版されたことは喜ばしい。これが刺激となって数量的な群集生態学の業績が現れることを期待したい。

引用文献

- BUSH, G. L., R. W. NECK, & G. B. KITTO, 1976. Screwworm eradication: Inadvertent selection for noncompetitive ecotypes during mass rearing. *Science*, **193**: 491-493.
- COLE, LaMont C., 1954. The population consequences of life history phenomena. *Quart. Rev. Biol.*, **29**: 103-137.
- DEMPSTER, J. P., 1975. *Animal Population Ecology*. 155 pp. Academic Press, London.
- FORD, D. C., 1972. *r*- and *K*-strategies in endemic host-parasitoid communities. *Bull. ent. Soc. Amer.*, **18**: 135-137.
- HAMADA, R., 1976. Density estimation by the modified JACKSON's method. *Appl. Ent. Zool.*, **11**: 194-201.
- 井上民二, 1972. 生物の「動き」の研究史。個体群生態学会会報, No. 21: 18-32.
- INOUE, T., K. KAMIMURA, & M. WATANABE, 1973. A quantitative analysis of dispersal in a horse-fly, *Tabanus iyoensis* SHIRAKI and its application to estimate the population size. *Res. Popul. Ecol.*, **14**: 209-233.
- & R. OHGUSHI, 1976. A simulation model of the arrowhead scale population on a citrus tree in relation to control programmes (I). *Res. Popul. Ecol.*, **18**: 89-104.
- & ————— 1977. Ditto (II): Dispersal of the scale and the amount of petroleum oil. *Ibid.*, **18**: 302-318.
- ITÔ, Y., 1972. On the methods for determining density-dependence by means of regression. *Oecologia*, **10**: 347-372.
- 1973. A method to estimate a minimum population density with a single recapture census. *Res. Popul. Ecol.*, **14**: 159-168.
- & O. IWAHASHI, 1976. A simple method to estimate sterile: normal ratios based on hatchability of eggs. *Appl. Ent. Zool.*, **11**: 139-140.
- 伊藤嘉昭・桐谷圭治, 1971. 動物の数は何でわかるか。NHK ブックス, 260 pp.
- , M. MURAI, T. TERUYA, R. HAMADA & A. SUGIMOTO, 1974. An estimation of population density of *Dacus cucurbitae* with mark-recapture methods. *Res. Popul. Ecol.*, **15**: 213-222.
- & M. NAGAMINE, 1974. Distribution of infestations of a sugar cane cicada, *Mogamia iwasakii* MATSUMURA (Hemiptera: Cicadidae) in Okinawa Island with a discussion on the cause of outbreak. *Appl. Ent. Zool.*, **9**: 58-64.
- 伊藤嘉昭・長嶺将昭, 1976. クサゼミの大発生。アニメ, 1976年2月号: 82-89.
- ITÔ, Y., A. SHIBAZAKI & O. IWAHASHI, 1969. Biology of *Hyphantria cunea* DRURY (Lepidoptera: Arctiidae) in Japan. IX. Population dynamics. *Res. Popul. Ecol.*, **11**: 211-228.
- , A. TAKAI, K. MIYASHITA & K. NAKAMURA, 1963. Estimation of density, survival rate and dilution rate of *Mecostethus magister* (Orthoptera: Acrididae) populations by the mark and recapture method. *Res. Popul. Ecol.*, **5**: 51-64.
- IWAHASHI, O., Y. ITÔ, H. ZUKEYAMA, & Y. YOGI, 1976. A progress report on the sterile insect releases of the melon fly, *Dacus cucurbitae* COQUILLET (Diptera: Tephritidae) on Kume Is., Okinawa. *Appl. Ent. Zool.*, **11**: 182-201.
- IWAO, S., 1968. A new regression method for analyzing the aggregation pattern of animal popu-

- lations. *Res. Popul. Ecol.*, **10**: 1-20.
- IWAO, S., 1970. Analysis of contagiousness in the action of mortality factors on the western tent caterpillar population by using the \bar{m} - m relationship. *Res. Popul. Ecol.*, **12**: 100-110.
- 1972. Application of the \bar{m} - m method to the analysis of spatial patterns by changing the quadrat size. *Res. Popul. Ecol.*, **14**: 97-128.
- 1977. Analysis of spatial association between two species based on the interspecies mean crowding. *Res. Popul. Ecol.*, **18**: 243-260.
- & E. KUNO, 1968. Use of the regression of mean crowding on mean density for estimating sample size and the transformation of data for the analysis of variance. *Res. Popul. Ecol.*, **10**: 210-214.
- & ——— 1971. An approach to the analysis of aggregation pattern in biological populations. In PATIL *et al.* (ed.), *Statistical Ecology*, 1. pp. 461-513. Penn, State Univ. Press.
- , K. KIRITANI, & N. HOKYO, 1966. Application of a marking-and-recapture method for the analysis of larval-adult populations of an insect, *Nezara viridula* (Hemiptera: Pentatomidae). *Res. Popul. Ecol.*, **8**: 147-160.
- , K. MIZUTA, H. NAKAMURA, T. ODA, & Y. SATO, 1963. Studies on a natural population of the large 28-spotted lady beetle, *Epilachna vigintioctomaculata* MOTSCHULSKY. I. Preliminary analysis of the overwintered adult population by means of the marking-and-recapture method. *Jap. J. Ecol.*, **13**: 109-117.
- KIMOTO, S., 1967. Some quantitative analysis of the chrysomelid fauna of the Ryukyu Archipelago. *Esakia*, **6**: 27-54.
- 木元新作, 1972. 日本列島におけるチョウ類およびハムシ類の地理的分布にみられる規則性. 日生態会誌, **22**: 40-46.
- 1976. 動物群集研究法 I. —多様性と種類組成— 192 pp. 共立出版.
- 桐谷圭治・法橋信彦, 1970. ミナミアオカメムシ個体群の生態学的研究. 259 pp. 農林省農林水産技術会議.
- KIRITANI, K., N. HOKYO, T. SASABA, & F. NAKASUJI, 1970. Studies on population dynamics of the green rice leafhopper, *Nephotettix cincticeps* UHLER: Regulatory mechanism of the population density. *Res. Popul. Ecol.*, **12**: 137-153.
- 岸本良一, 1975. ウンカ 海を渡る. 233 pp. 中央公論社.
- 久野英二, 1968. 水田における稲ウンカ・ヨコバイ類個体群の動態に関する研究. 九州農試彙報, **14**: 131-246.
- KUNO, E., 1969. A new method of sequential sampling to obtain the population estimates with a fixed level of precision. *Res. Popul. Ecol.*, **11**: 127-136.
- 1971. Sampling error as a misleading artifact in 'key factor analysis.' *Res. Popul. Ecol.*, **13**: 28-45.
- LLOYD, Monte, 1967. 'Mean crowding.' *J. Anim. Ecol.*, **36**: 1-30.
- MACARTHUR, R. H., & E. O. WILSON, 1967. *The Theory of Island Biogeography*. 203 pp. Princeton Univ. Press. Princeton.
- MATSUMOTO, T., 1976. The role of termites in an equatorial rain forest ecosystem of west Malaysia. I. Population density, biomass, carbon, nitrogen and calorific content and respiration rate. *Oecologia*, **22**: 153-178.
- MIYASHITA, K., 1968. Quantitative feeding biology of *Lycosa T-insignita* BOES. et STR. (Araneae: Lycosidae). *Bull. natl. Inst. agric. Sci. (Japan)*, **C22**: 329-344.
- 1969. Effects of locomotory activity, temperature and hunger on the respiratory rate of *Lycosa T-insignita* BOES. et STR. (Araneae: Lycosidae). *Appl. Ent. Zool.*, **4**: 105-113.
- MORISITA, M., 1959. Measuring of the dispersion of individuals and analysis of the distributional patterns. *Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ.*, E (Biol.), **2**: 215-235.
- MORRIS, R. F., 1963. Predictive population equations based on key factors. *Mem. ent. Soc.*

- Can.*, No. 32: 16-21.
- (ed.) 1963. The dynamics of epidemic spruce budworm populations. *Mem. ent. Soc. Can.*, No. 31, 332 pp.
- 長嶺将昭・照屋林宏, 1976. イワサキクサゼミの生活史について. 沖農試報告, 第2号: 15-26.
- NAGAMINE, M., R. TERUYA, & Y. ITÔ, 1975. A life table of *Mogannia iwasakii* (Homoptera: Cicadidae) in sugarcane field of Okinawa. *Res. Popul. Ecol.*, **17**: 39-50.
- NAKAMURA, K., Y. ITÔ, M. NAKAMURA, T. MASTUMOTO, & K. HAYAKAWA, 1971. Estimation of population productivity of *Parapleurus alliaceus* GERMAR (Orthoptera: Acridiidae) on a *Miscanthus chinensis* ANDERS. grassland. I. Estimation of population parameters. *Oecologia*, **7**: 1-15.
- NAKASUJI, F., & K. KIRITANI, 1972. Descriptive models for the system of the natural spread of infection of rice dwarf virus (RDV) by the green rice leafhopper, *Nephotettix cincticeps* UHLER (Hemiptera: Deltocephalidae). *Res. Popul. Ecol.*, **14**: 18-35.
- PIANKA, E. R., 1974. *Evolutionary Ecology*. 356 pp. Harper & Row, New York.
- PRICE, P. W., 1975a. Reproductive strategies of parasitoids. In P. W. PRICE (ed.), *Evolutionary Strategies of Parasitic Insects and Mites*. pp. 87-111. Plenum, New York and London.
- 1975b. *Insect Ecology*. 514 pp. John Wiley, New York.
- ROYAMA, T., 1971. A comparative study of models for predation and parasitism. *Res. Popul. Ecol., Suppl.* No. 1, 91 pp.
- SASABA, T., K. KIRITANI, & T. URABE, 1973. A preliminary model to simulate the effect of insecticides on a spider-leafhopper system in the paddy field. *Res. Popul. Ecol.*, **15**: 9-22.
- 内田俊郎, 1967. 昆虫の個体群生態学. 日本における最近の10年. 昆虫, **35**: 196-204.
- VARLEY, G. C., & G. R. GRADWELL, 1963. The interpretation of insect population changes. *Proc. Ceylon Ass. adv. Sci.*, **18** (D): 142-156.
- , ——— & M. P. HASSELL, 1973. *Insect Population Ecology: An Analytical Approach*. 212 pp. Blackwell, London.
- WATT, K. E. F., 1968. *Ecology and Resource Management*. 450 pp. McGraw-Hill. (伊藤嘉昭監訳, 1972, 生態学と資源管理, 上・下. 築地書館).
- WILSON, E. O., 1975. *Sociobiology*. 697 pp. Belknap Press of Harvard Univ. Press. Cambridge and London.
- & W. H. BOSSERT, 1971. *A Primer of Population Biology*. 192 pp. Sinauer Associates. (巖俊一・石和貞男訳, 1977, 集団の生物学入門, 培風館).