

広域調査によるキンモンホソガ の発生量の解析と発生予察

関 田 徳 雄 ・ 山 田 雅 輝

Analyses of Extensive Survey Data of the Apple Leaf Miner,
Phyllonorycter ringoniella (MASTSUMURA),
 with Special Reference to the Prediction of
 Population Density in Wide Area
 Norio SEKITA and Masateru YAMADA
 Aomori Apple Experiment Station
 Kuroishi, Aomori, 036-03, Japan

目 次

I 緒 言	3
II 調査方法	4
III 解析方法	4
1. 潜孔葉率から潜孔密度への変換	4
2. 発生量の数値的表示方法	5
3. 第1世代密度の変換	7
4. 欠測値の補正	7
IV 推定した平均密度の精度の検討	7
V 津軽地域と南部地域における経時変動様式	11
1. 両地域における増殖様式の特徴	13
i) 第1世代から第2世代の増殖率の差異	13
ii) 第2世代以降の増殖率の差異	14
iii) 越冬期の増殖率の差異	14
2. 両地域における各世代密度の年次変動の大きさ	15
3. 自然調節の強さ	17
VI 発生量の予察	19
1. 第2世代の予察	20
2. 第3世代の予察	21
3. 第4世代の予察	21
4. 第1世代の予察	21
5. 全体の傾向	21
6. 予察式利用上の問題点	22
VII 発生量の予察 —空間的な側面—	22
VIII 潜孔葉率の空間分布	23

1. 潜孔葉率の園間分布	24
2. 平均と分散の関係	25
3. ベータ分布への当てはめ	26
XI 予察式による予測値と実測値の比較	30
1. 発生量の予測値と実測値との比較	30
2. ベータ分布の母数と程度別発生園地割合の予測	31
X 総括	33
引用文献	35
補注	37
Summary	38

1 緒 言

現在、青森県ではリンゴ病害虫の発生実態を把握するために、3月下旬から11月上旬まで定点を巡回し、「農作物有害動物発生予察事業実施要領」に示された調査方法でそれらの発生状況を調査している（以下ではこれを巡回調査と略称する）。リンゴ害虫については主としてこの資料に基づいて、発生の程度と広がりに関する発生予報が出されている。また、発生時期に関する予報は、県予察は場、地区予察は場、消長調査は場などいくつかの定点で調査する発育に関する資料に基づいている。これまでリンゴ害虫でも発生時期の予察に関する研究はかなり行われ（例えば、津川ら1959, 1960, 1961, 1962, 1963, 1964, 1966, 1972; 関田ら, 1973）、その成果が活用されている。しかし、発生量に関する予察はリンゴハダニ (*Panonychus ulmi* KOCH) で若干試みられている程度で（山田ら1978, 伊藤ら1978）、多くの害虫では「今世代の発生が多いから、次世代の発生も多いであろう」といった極めて根拠の薄い、経験あるいは直感による予察が行われているにすぎない。

発生量に関する予察の確立が遅れているのは、資料の蓄積に多大の労力と長年月を要することもあるが、発生時期の予察ではその基礎となる理論的背景が生理学であるのに対し、発生量の予察では理論的背景と手法の多くを、歴史の浅い科学である生態学に求めなければならないということにもあると考えられる。ここで取り扱ったような広域面積を対象とした資料の解析例としては、高木ら（1962）、小林ら（1977）による水田の病害虫を対象とした実態把握のための抽出調査法に関する優れた研究がある。しかし、ある時期又はある世代の実態調査の結果と次の時期又は世代の実態調査の結果との関係を解析した例は少なく、リンゴでは神山ら（1979）による1978年に青森県津軽地方に多発したリンゴコカクモンハマキ (*Adoxophyes orina fasciata* WALSINGHAM) の単年度における調査結果の解析例があるに過ぎない。

発生予察事業における発生量に関連する資料の多くが巡回調査によって得られていることを考慮すると、この種の資料の解析も今後積極的に行われなければならないと思われる。そこで、筆者らは巡回調査によって蓄積された1974年から1979年までのキンモンホソガ (*Phyllonorycter ringoniella* MATSUMURA) に関する資料を

解析し、発生量の予察が可能かどうかを検討した。本種は幼虫がリンゴ葉の組織内に潜入して潜孔内で葉肉を食する害虫であり、青森県では年4回発生する（山田ら1970）。調査年次数が少ないため統計処理の上で問題はあるとしても、今後他の病害虫の発生量予察上基本的に重要と思われる事柄についての指摘は可能であったと思われるので、その結果を報告する。

なお、ここで取り扱った資料は青森県津軽地域病害虫防除所と青森県南部地域病害虫防除所の職員によって調査されたものであり、直接、間接にこの調査に携わった職員数は津軽地域病害虫防除所16名、南部地域病害虫防除所11名に及んだ。この調査に要した労力は同時に行われた他のリンゴ病害虫の調査に要した労力から分離できないので、こみにして考えざるを得ないが、400人日を下まわることはないと思われる。このような貴重な資料を心よく提供して下さった両病害虫防除所の多くの方々にお礼申し上げたい。また、解析の過程で本調査を中心になって推進された津軽地域病害虫防除所の神山彰¹⁾、花田裕二、佐藤保、南部地域病害虫防除所の岩間慶男²⁾、八木橋誠³⁾、佐々木政司の諸氏から貴重な助言や激励をいただいた。これらの方々には深謝の意を表する。

防除所資料では十分な検討ができない精度に関する問題と、本稿の取りまとめに不可欠なキンモンホソガが加害した葉の割合（潜孔葉率）から潜孔密度への変換のための資料は、当昆虫科の調査資料を用いた。これらの結果はいずれ別の観点から取りまとめが行われるであろうが、この調査には当昆虫科の白崎将瑛、小山信行、斎藤靖夫⁴⁾、川嶋浩三の諸氏及び臨時職員として御援助いただいた石岡諒、対馬文治、境裕康、佐藤徹、奈良公徳、松田修一の諸氏が直接調査に関与した。これらの方々にも感謝の意を表する。

また、本稿取りまとめに際し、御校閲と御批判を賜った青森県りんご試験場長津川力博士並びに農林水産省果樹試験場志賀正和博士、防除所資料で現場への活用の可能性のあるものの整理と取りまとめを急ぐように指示、激励して下さい前青森県りんご試験場病虫部長工藤祐基氏（現在、青森県畑作園芸試験場長）、計算の手伝いをして下さった長内由起子氏に厚くお礼申し上げたい。

1) 現在、木造地区農業改良普及所
2) 現在、三戸地方農林事務所

3) 現在、青森県大阪事務所
4) 現在、青森県黒石市で自営

Ⅱ 調査方法

ここで使用した巡回調査資料は次のようにして調査されたものである。すなわち、キンモンホソガ各世代の発生実態を把握するために6月中旬、7月中旬、9月上旬及び10月上旬の4回巡回調査が行われた。これらの時期はおおむねキンモンホソガの食組織型幼虫期¹⁾に相当し、潜孔の存在がリンゴ葉の表面からも識別できるので観察も容易である。

それぞれの巡回調査地点における調査では1園5樹について、1樹当たり第1世代で30果そう、第2～第4世代で新梢の中位葉30枚についてそれぞれ潜孔の有無が観察された。

Ⅲ 解析方法

1. 潜孔葉率から潜孔密度への変換

先に述べたように、巡回調査では一定数の果そう（又は葉）の観察によって潜孔葉率を求めている。単に発生予察を目的として世代間関係を解析するだけならば、相続く2つの世代の潜孔葉率に適当な回帰式をあてはめることも可能かも知れない。しかし、このような方法によった場合、統計的な問題はさておいても、キンモンホソガの個体群動態の本質的な特徴をとらえることが不可能である。また、得られた式の信頼性を確認することが容易でないといった問題もある。すなわち、キンモンホソガの1雌当たりの産卵能力は夏世代で70～80個程度であるが、このようなキンモンホソガの個生態と矛盾するような回帰式が得られても、その矛盾をなかなか指摘しにくいのである。そこで、これまでキンモンホソガに関するいくつかの目的で調査された青森県りんご試験場昆虫科の資料（以下、りんご試資料と略称）を基にして、潜孔葉率と潜孔密度との関係を河野ら（1958）の提案した経験式

$$p = 1 - e^{-a\lambda^b} \quad (1)$$

による表示を試みた。ここで、 p は潜孔葉率、 λ は潜孔密度であり、 a は分布のランダム性によって定まる恒数であって、集中的な分布では $a < 1$ 、均等な分布では $a > 1$ 、ランダム分布では $a = 1$ となる。一方、 b は分布のランダム性が密度に依存する程度をあらわすもので、 $b < 1$ ならば密度が増すとともに分布は集中化の方向へ、 $b > 1$ ならば均等化の方向へ変化し、 $b = 1$ なら密度によって分布のランダム性が変化しない（河野ら1958）。

(1)式を変形して自然対数をとると

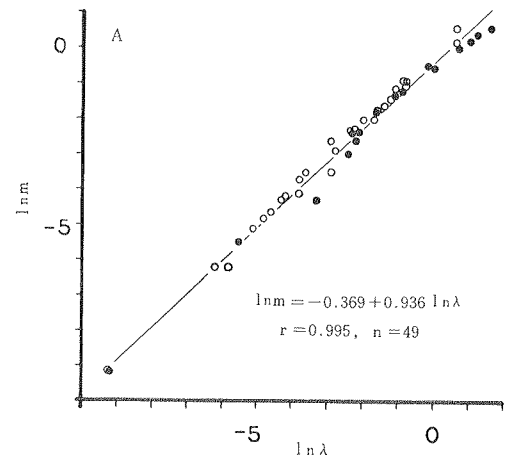
$$-\ln(1-p) = a\lambda^b \quad (2)$$

が得られ、左辺を m とおいてさらに自然対数をとると

$$\ln m = a + b \ln \lambda \quad (3)$$

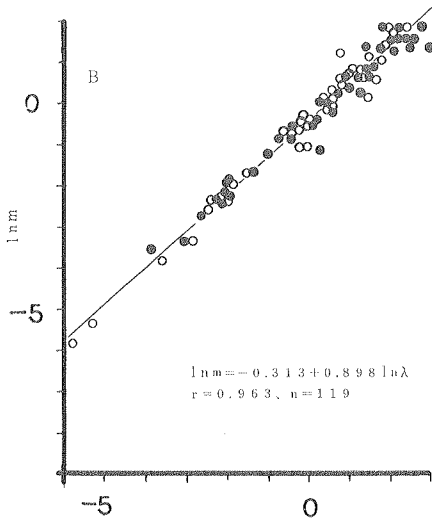
が得られる。

第1図は果そう単位で調べた第1世代と新梢中位葉単位で調べた第2～第4世代に分けて、 $\ln \lambda$ と $\ln m$ との直線性を吟味した結果である。いずれの場合も吸液型幼虫と食組織型幼虫をこみにしているが、1つの直線であてはめることが可能であり、第1世代では、



第1図—A キンモンホソガ第1世代の潜孔密度(λ)と潜孔葉率(P)の関係に対する $P=1-e^{-a\lambda^b}$ の適用と直線性の吟味、黒丸は吸液型幼虫、白丸は食組織型幼虫

1) 黒子(1969)に従って、幼虫期前半(sap feeder)を吸液型幼虫、幼虫期後半(tissue feeder)を食組織型幼虫と呼称した。



第1図—B キンモンホソガ第2～4世代の潜孔寄生密度(λ)と潜孔率率(P)の関係に対する $P=1-e^{-a\lambda^b}$ の適用と直線性の吟味、黒丸は吸液型幼虫、白丸は食組織型幼虫

$$\ln m = -0.369 + 0.936 \ln \lambda \quad (4)$$

第2～第4世代では

$$\ln m = -0.313 + 0.898 \ln \lambda \quad (5)$$

という関係式が得られた。直線性の検定結果は、いずれも危険率が1%以下であった。これらの式から、第1世代では

$$p = 1 - e^{-0.369\lambda^{0.936}} \quad (6)$$

第2～第4世代では

$$p = 1 - e^{-0.313\lambda^{0.898}} \quad (7)$$

が得られる。

恒数 a , b のとる値を検討してみるといずれの場合も $a < 1$ であり、集中的な分布であることを示し、 $b < 1$ から密度が増すにつれてわずかながら集中的傾向の高まることを期待される。この結果は本種の分布型を検討したこれまでの結果とも一致する(山田ら1971, SEKITA *et al.*, 1979)。

ところで、本稿の目的は観測値 p を用いて λ を推定することである。(4)～(5)式は最小自乗法によって求めたものである。これらの式を直接変換して $\ln m$ に対する $\ln \lambda$ の関係式を導くことには統計学的に問題がある。そこで、 $\ln m$ に対する $\ln \lambda$ の回帰式を求めたところ、第1世代では

$$\ln \lambda = 0.186 + 1.020 \ln m \quad (8)$$

第2～第4世代では

$$\ln \lambda = 0.333 + 1.032 \ln m \quad (9)$$

が得られた。

発生予察事業実施要領の基準では、圃の平均潜孔率 p が $p=0$ を「無」、 $0 < p \leq 25$ を「少」、 $25 < p \leq 50$ を「中」、 $50 < p \leq 75$ を「多」、 $75 < p \leq 100$ を「甚」と評価している。これらの各発生程度の百分率の中央値に相当する発生密度を推定すると次のような値が得られる。

世 代	発 生 程 度				
	無	少	中	多	甚
第1世代	0	0.15	0.56	1.18	2.54
第2～第4世代	0	0.17	0.63	1.36	2.97

ここで、発生程度「無」、すなわち、 $p=0$ は変換式による変換は不能であるが、 $\lambda=0$ とした。

2. 発生量の数値的表示方法

発生予察事業実施要領の基準では害虫の発生程度を示す階級幅は世代に関係なく、キンモンホソガの場合は25%間隔となっている。後述するように、一般に密度が低い第1世代、第2世代では発生圃地の大部分が「少」階級に含まれ、しかもその階級内でも0に近い方に偏っている。そのため、程度別階級の中央値とその階級に属する圃地割合から求めた地域全体の平均潜孔率や平均密度は、実際よりも過大評価する可能性が強く、したがって、年次変動を過小評価する可能性が強い。これらのことを確かめるために、津軽地域の防除所資料を用い、次の4つの表示法について比較し、その結果を第1表の左欄に示した。

A：元の資料から各調査地点の平均潜孔率を求め、その合計を地点数で割って求めた全体の平均潜孔率。

B：発生予察事業実施要領の基準による各発生程度の中央値とそれぞれの階級に属する頻度から求めた全体の平均潜孔率。

C：階級数 n を STURGES の方法(石川1955)によって $n = 1 + \log N / \log 2$ (ただし、 N は調査地点数)とし、これまでに経験した各世代の最高潜孔率を n で割って階級幅とした度数分布表を作製し、これらの各階級の中央値とそれぞれの階級に属する頻度から求めた平均潜孔率(ただし、年次あるいは世代によって調査地点数が60以下の場合でも $N=60$ とした)。

D：Cでは潜孔率0を最少階級に含めたが、ここでは独立に取り扱って求めた平均潜孔率。

これらの表示法をAに対する倍数によって示すと、B法では第1世代が3.0～12.5倍、第2世代が1.9～10.4

第1表 4つの方法で求めた平均潜孔葉率及び5つの方法で求めた平均潜孔密度の比較

世代	年度	平均潜孔葉率 (%)				平均潜孔密度					地点数
		A	B	C	D	A'	B'	C'	D'	A''	
1	1974	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1975	1.31	5.10	2.18	1.34	0.0148	0.0589	0.0245	0.0152	0.0145	57
	1976	0.30	3.01	1.57	0.43	0.0033	0.0348	0.0174	0.0048	0.0032	42
	1977	0.10	1.25	1.50	0.15	0.0011	0.0144	0.0166	0.0017	0.0011	60
	1978	0.77	3.53	1.95	0.88	0.0087	0.0409	0.0218	0.0099	0.0084	60
	1979	2.36	7.10	3.05	3.07	0.0270	0.0822	0.0346	0.0268	0.0264	60
2	1974	1.07	2.85	2.54	1.02	0.0137	0.0593	0.0317	0.0130	0.0129	59
	1975	2.70	6.90	3.44	2.56	0.0346	0.0900	0.0435	0.0326	0.0335	50
	1976	0.37	2.55	2.08	0.49	0.0045	0.0332	0.0256	0.0061	0.0043	49
	1977	0.12	1.25	2.00	0.20	0.0014	0.0163	0.0246	0.0025	0.0013	60
	1978	1.85	3.53	3.20	1.73	0.0240	0.0461	0.0406	0.0224	0.0227	60
	1979	0.45	2.09	2.13	0.47	0.0056	0.0272	0.0263	0.0058	0.0053	60
3	1974	14.68	17.71	16.73	15.66	0.1955	0.2360	0.2222	0.2085	0.1924	59
	1975	7.62	11.56	10.97	8.28	0.1009	0.1536	0.1437	0.1094	0.0977	60
	1976	5.22	9.16	9.80	6.88	0.0693	0.1212	0.1281	0.0908	0.0661	60
	1977	0.78	3.33	7.00	2.10	0.0098	0.0435	0.0896	0.0269	0.0093	60
	1978	5.95	9.20	10.73	7.23	0.0797	0.1225	0.1411	0.0963	0.0756	60
	1979	13.00	15.80	16.33	13.53	0.1756	0.2130	0.2182	0.1824	0.1697	60
4	1974	53.81	55.20	54.20	54.20	0.7371	0.7566	0.7430	0.7430	0.7355	31
	1975	45.22	43.78	44.57	44.57	0.6174	0.5975	0.6086	0.6086	0.6146	60
	1976	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1977	8.48	12.69	12.87	10.60	0.1141	0.1692	0.1708	0.1418	0.0848	60
	1978	43.85	42.45	43.85	43.62	0.5996	0.5797	0.5989	0.5959	0.5954	60
	1979	38.82	38.76	40.04	39.09	0.5328	0.5307	0.5482	0.5482	0.5250	60

A：元の資料から求めた平均潜孔葉率

B：「無」、「少」、「中」、「多」、「甚」の潜孔葉率の中央値とそれぞれの階級に属する頻度から求めた平均潜孔葉率

C：STURGESの方法で階級数を決め、潜孔葉率「0」を独立に取り扱わないで求めた平均潜孔葉率

D：STURGESの方法で階級数を決め、潜孔葉率「0」を独立に取り扱って求めた平均潜孔葉率

A', B', C', D'：(6), (7)式で変換した値をA, B, C, Dに順じて求めた平均潜孔葉密度

A''：Aの値を直接(6), (7)式に代入して求めた平均潜孔密度

倍、第3世代が1.2~4.3倍、第4世代が1.0~1.5倍であった。C法では第1~第4世代がそれぞれ1.3~15.0倍、1.3~27.3倍、1.1~9.0倍、1.0~1.5倍、D法では第1~第4世代がそれぞれ1.3~1.5倍、1.0~1.7倍、1.0~2.3倍、1.0~1.3倍であった。このように、B, C法では過大評価の傾向が強かったが、D法ではほぼ近似した値が得られた。

次に、各世代の最小値と最大値の倍数を比較すると、第1世代ではA法が23.6倍に対し、B, C及びD法はそれぞれ5.7倍、2.0倍、20.4倍、第2世代ではA法が22.5倍に対し、B, C及びD法はそれぞれ5.2倍、1.7倍、12.8倍、第3世代ではA法が18.8倍に対し、B, C及びD法はそれぞれ5.3倍、2.4倍、7.5倍、第4世代ではA法が6.3倍に対し、B, C及びD法では4.3倍、4.2倍、5.1倍であった。このように、B及びC法では実際の年次変化を極めて過小に評価し、D法でも第2, 第3世代

で約1/2程度過小評価となった。

次に、全体の平均密度をA, B, C, Dそれぞれに対応する方法で(8), (9)式によって変換した値から求め、第1表の右欄にA', B', C', D'として示した。ここで、A'は各地点の潜孔葉率を潜孔密度に変換し、これらの合計値を調査地点数で割って求めた全体の平均密度であるが、さらにA''として全体の平均潜孔葉率(すなわちAの値そのもの)を直接(8), (9)式に代入して求めた結果も表示した。

A'に対するB', C', D'の倍数並びにA'による年次変動とB', C', D'による年次変動を比較した結果、これらの算定基礎となった潜孔葉率での検討結果の傾向とおおむね一致した。また、A''による評価はA'とほとんど一致した。計算はA''の方が簡単であるので実用的であると思われる。

以上のように、発生予察事業実施要領に基づいた年次

1) A'とA''の方法による平均値の数学的な関係については補注に示した。

報告による発生程度別園地割合から求めた平均値で密度変動を解析すると、実際の密度を過大に推定し、変動幅を過小に推定することになり、不都合であることが明らかとなった。又、現行の発生予察実施要領におけるキンモンホソガの発生程度表示基準は世代を無視して定められていることから、第1世代と第2世代では発生園地の大部分が「少」階級に含まれる。そのため、これらの世代では防除上の問題がないといった誤解を生じる場合もある。改善の一対策としては、D法に準じて各世代でこれまでに経験した最大値付近を「甚」として再区分することが考えられる。この方法によれば発生量の把握という点では矛盾が少なく、常識的な語感から生じる誤解も避けることができるものと思われる。しかし、この方法でも年次間変動の過小評価は避けられないので、全体の平均値もあわせて示しておく方がよい。

A' と A'' による表示法はほとんど同じ結果を与えるので、津軽地域ではここで検討した際に求めた A' を用いたが、南部地域では簡略化して A'' によって平均密度を求め、以下の解析に供した。

3. 第1世代密度の変換

先にもふれたように、キンモンホソガの巡回調査では第1世代が果そうを調査単位としているのに対し、第2世代以降では新梢の中位葉を調査単位としている。そのため、第1世代と他の世代との密度を直接比較することはできない。しかし、これまでのキンモンホソガのサンプリング法に関する研究から、第1世代の100果そう当

たり密度 $\lambda_{1.100}$ を

$$\log \lambda'_{1.100} = -0.6643 + 0.7713 \log \lambda_{1.100} \quad (10)$$

によって100葉当たりの密度 ($\lambda'_{1.100}$) に変換できるので(山田ら、未発表)、第1世代の果そう当りの推定平均密度をさらに(10)式で変換し、他の世代との直接比較を可能にした。

4. 欠測値の補正

巡回調査による欠測が津軽地域で1974年の第1世代と1976年第4世代の2回あった。これらの欠測値は、後述する1970年から津軽地域の11地点で各種害虫の発生状況を定期的に調査しているりんご試資料によって補正した。りんご試資料による11地点における平均密度 (λ') と津軽地域の防除所資料による平均密度 (λ) との回帰式を求めたところ、第1世代では

$$\lambda_1 = 0.037 + 0.864 \lambda'_1 \quad (11)$$

(n=5, r²=0.693)

第2～第4世代では

$$\lambda_{2-4} = 0.104 + 0.707 \lambda'_{2-4} \quad (12)$$

(n=17, r²=0.760)

が得られた。全変動を回帰式によって説明し得る割合はあまり高いとは言えないが、一応これらの式で推定可能と考えられる。これらの回帰式による補正は、防除所資料から得られた個体群密度曲線の前後関係(トレンド)から推定したものとちがって、ある程度信頼性が高いという強みがあるが、統計的な処理をする際は原則として除外した。

IV 推定した平均密度の精度の検討

防除所の調査とは独立に、青森県りんご試験場昆虫科では津軽地域11地点において1地点3園、1園から5樹を選んで各種害虫の発生状況を1970年から継続調査しており、キンモンホソガでは原則として第1世代は30果そう、第2～第4世代では新梢中位葉30枚を任意抽出して、食組織型幼虫に達した潜孔数を計数している。防除所資料では各地点の平均潜孔率率だけしか求められていないため、精度についての十分な検討ができないので、ここではりんご試資料を用いて若干の解析をし、その結果から防除所資料の精度がどの程度かを間接的に推定しようとした。

りんご試資料では、調査園と調査樹の選定が必ずしも任意抽出とはいえないので問題があるが、個々の調査単位(果そう又は葉)の潜孔数 x を $\log(x+1)$ と対数変換した値 X が次のランダム・モデルに従うと仮定して分散分析をし、地点、園、樹、果そう(又は葉)の分散 $\sigma_p^2, \sigma_o^2, \sigma_l^2, \sigma^2$ を推定した。

$$X_{ijkl} = U + P_i + O_{ij} + T_{ijk} + \varepsilon_{ijkl} \quad (13)$$

ただし、 $i=1, 2, \dots, 11; j=1, 2, 3; k=$

$1, 2, \dots, 5; l=1, 2, \dots, 30。$

$P_i = N(0, \sigma_p^2), O_{ij} = N(0, \sigma_o^2),$

$T_{ijk} = N(0, \sigma_l^2), \varepsilon_{ijkl} = N(0, \sigma^2)。$

ここで、 X_{ijkl} は第 i 地点、第 j 園、第 k 樹、第 l 果そう(又は葉)の潜孔数の対数変換値を示し、 U は全体の平均、 P, O, T, ε はそれぞれ地点、園、樹、果そう(又は葉)の特性値を示す。

分散分析の結果と $\sigma_p^2, \sigma_o^2, \sigma_l^2$ 、及び σ^2 の推定値は世代別に第2表から第5表に示した。

果そう(又は葉)当たり平均密度の分散 $S_{\bar{X}}^2$ は地区間の分散を全調査果そう(又は葉)で割ることによって求められ、その平方根が全体の平均密度の標準誤差である。又、対数変換値による平均 \bar{X} から

$$\bar{Y} = \text{untilog } \bar{X} - 1 \quad (14)$$

によって幾何平均が得られる。これらの値は元の資料か

第2表 キンモンホソガ第1世代の分散分析及び平均と分散の推定値

要 因	自由度	1974		1975		1976		1977		1979	
		平方和	分散	平方和	分散	平方和	分散	平方和	分散	平方和	分散
地 区	10	0.1166	0.0117	0.9210	0.0921	0.0906	0.0091	0.5214	0.0521	4.3313	0.4331
地区内園	22	0.0801	0.0036	0.9410	0.0428	0.1254	0.0057	1.0504	0.0477	2.7198	0.1236
園内樹	132	0.2615	0.0020	0.6194	0.0047	0.2357	0.0018	0.3015	0.0023	2.5655	0.0194
樹内葉	4785	7.3692	0.0015	9.9828	0.0021	5.2366	0.0011	5.5317	0.0012	36.4399	0.0076
合 計	4949	7.8214		12.4642		5.6883		7.5315		46.0559	
平 均		0.4084×10^{-2}		0.6663×10^{-2}		0.3472×10^{-2}		0.3740×10^{-2}		0.2472×10^{-1}	
$\hat{\sigma}^2$		0.1541×10^{-2}		0.2086×10^{-2}		0.1094×10^{-2}		0.1156×10^{-2}		0.7615×10^{-2}	
$\hat{\sigma}_t^2$		0.1470×10^{-4}		0.8687×10^{-4}		0.2307×10^{-4}		0.3761×10^{-4}		0.3928×10^{-3}	
$\hat{\sigma}_o^2$		0.1105×10^{-4}		0.2539×10^{-3}		0.2609×10^{-4}		0.3030×10^{-3}		0.6946×10^{-3}	
$\hat{\sigma}_p^2$		0.1783×10^{-4}		0.1096×10^{-3}		0.7471×10^{-5}		0.9782×10^{-5}		0.6877×10^{-3}	
算術平均		0.1012×10^{-1}		0.2440×10^{-1}		0.1120×10^{-1}		0.1460×10^{-1}		0.9050×10^{-1}	
$S_{\bar{x}}^2$		0.2364×10^{-5}		0.1861×10^{-4}		0.1838×10^{-5}		0.1053×10^{-4}		0.8749×10^{-4}	
$S_{\bar{x}}$		0.1537×10^{-2}		0.4313×10^{-2}		0.1356×10^{-2}		0.3244×10^{-2}		0.9354×10^{-2}	
幾何平均		0.9448×10^{-2}		0.1546×10^{-1}		0.8026×10^{-2}		0.8648×10^{-2}		0.5857×10^{-1}	
$\text{untilog}(\bar{y} + s_{\bar{x}})$	-1	0.1303×10^{-1}		0.2560×10^{-1}		0.1118×10^{-1}		0.1621×10^{-1}		0.8162×10^{-1}	
$\text{untilog}(\bar{y} - s_{\bar{x}})$	-1	0.5881×10^{-2}		0.5425×10^{-2}		0.4884×10^{-2}		0.1142×10^{-2}		0.3601×10^{-1}	

第3表 キンモンホソガ第2世代の分散分析及び平均と分散の推定値

要 因	自由度	1974		1975		1976		1977		1978		1979	
		平方和	分散	平方和	分散	平方和	分散	平方和	分散	平方和	分散	平方和	分散
地 区	10	0.3303	0.0367	2.4678	0.2468	0.0948	0.0095	0.2436	0.0305	1.1358	0.1136	1.0040	0.1004
地区内園	22	0.5282	0.0264	5.1229	0.2329	0.0984	0.0045	0.3989	0.0222	0.1855	0.0084	1.5198	0.0690
園内樹	132	0.4958	0.0041	2.1426	0.0162	0.1094	0.0008	0.3455	0.0032	0.4793	0.0036	0.5674	0.0420
樹内葉	4785	11.2629	0.0026	24.7960	0.0052	3.8196	0.0008	5.8533	0.0009	13.8399	0.0029	9.7318	0.0020
合 計	4949	12.6172		34.5293		4.1223		6.8413		15.6405		12.8230	
平 均		0.8574×10^{-2}		0.1925×10^{-1}		0.2686×10^{-2}		0.3370×10^{-2}		0.9791×10^{-2}		0.7500×10^{-2}	
$\hat{\sigma}^2$		0.2589×10^{-2}		0.5182×10^{-2}		0.7982×10^{-3}		0.8849×10^{-3}		0.2892×10^{-2}		0.2000×10^{-2}	
$\hat{\sigma}_t^2$		0.5143×10^{-4}		0.3683×10^{-3}		0.1030×10^{-5}		0.4628×10^{-4}		0.2500×10^{-4}		0.7333×10^{-4}	
$\hat{\sigma}_o^2$		0.1485×10^{-3}		0.1444×10^{-2}		0.2430×10^{-4}		0.7584×10^{-4}		0.3200×10^{-4}		0.4320×10^{-3}	
$\hat{\sigma}_p^2$		0.2287×10^{-4}		0.3093×10^{-4}		0.1113×10^{-4}		0.1105×10^{-4}		0.2340×10^{-3}		0.6978×10^{-4}	
算術平均		0.2650×10^{-1}		0.6910×10^{-1}		0.1800×10^{-1}		0.1110×10^{-1}		0.3390×10^{-1}		0.2650×10^{-1}	
$S_{\bar{x}}^2$		0.8156×10^{-5}		0.4986×10^{-4}		0.1919×10^{-5}		0.4511×10^{-5}		0.2295×10^{-4}		0.2028×10^{-4}	
$S_{\bar{x}}$		0.2856×10^{-2}		0.7061×10^{-2}		0.1385×10^{-2}		0.2124×10^{-2}		0.4791×10^{-2}		0.4504×10^{-2}	
幾何平均		0.1994×10^{-1}		0.4531×10^{-1}		0.6203×10^{-2}		0.7789×10^{-2}		0.2280×10^{-1}		0.1742×10^{-1}	
$\text{untilog}(\bar{y} + s_{\bar{x}})$	-1	0.2667×10^{-1}		0.6245×10^{-1}		0.9417×10^{-2}		0.1273×10^{-1}		0.3415×10^{-1}		0.2803×10^{-1}	
$\text{untilog}(\bar{y} - s_{\bar{x}})$	-1	0.1325×10^{-1}		0.2845×10^{-1}		0.3000×10^{-2}		0.2873×10^{-2}		0.1158×10^{-1}		0.6922×10^{-2}	

第4表 キンモンホソガ第3世代の分散分析及び平均と分散の推定値

要 因	自由度	1974		1975		1976		1977		1979	
		平方和	分散	平方和	分散	平方和	分散	平方和	分散	平方和	分散
地 区	10	37.7732	3.7730	26.1301	2.9033	0.5687	0.0569	0.2251	0.0225	2.4208	0.2420
地区内園	22	44.0000	2.0000	51.6795	2.5840	0.8803	0.0400	0.0311	0.0142	2.6385	0.1199
園内樹	132	5.4364	0.0412	5.7816	0.0482	0.7701	0.0058	2.0000	0.0016	1.4629	0.0110
樹内葉	4785	119.4596	0.01352	74.3157	0.0171	11.5463	0.0024	5.0321	0.0011	27.5832	0.0057
合 計	4949	205.9286		157.9069		13.7654		5.4942		34.1057	
平 均		0.5929×10^{-1}		0.8684×10^{-1}		0.7727×10^{-2}		0.3562×10^{-2}		0.1869×10^{-1}	
$\hat{\sigma}^2$		0.1352×10^{-1}		0.1708×10^{-1}		0.2413×10^{-2}		0.1052×10^{-2}		0.5700×10^{-2}	
$\hat{\sigma}_t^2$		0.5574×10^{-3}		0.1037×10^{-2}		0.1140×10^{-3}		0.1695×10^{-4}		0.1767×10^{-3}	
$\hat{\sigma}_o^2$		0.7998×10^{-2}		0.1691×10^{-1}		0.2279×10^{-3}		0.9680×10^{-6}		0.7260×10^{-3}	
$\hat{\sigma}_p^2$		0.5026×10^{-2}		0.7097×10^{-3}		0.3746×10^{-4}		0.4687×10^{-4}		0.2713×10^{-3}	
算術平均		0.2684		0.3750		0.2890×10^{-1}		0.1210×10^{-1}		0.7450×10^{-1}	
$S_{\bar{x}}^2$		0.4197×10^{-2}		0.6452×10^{-3}		0.1149×10^{-4}		0.4545×10^{-5}		0.4889×10^{-4}	
S_x		0.2049×10^{-1}		0.2540×10^{-1}		0.3390×10^{-2}		0.2132×10^{-2}		0.6992×10^{-2}	
幾何平均		0.1463		0.2213		0.1795×10^{-1}		0.8235×10^{-2}		0.4397×10^{-1}	
$\text{untilog}(\bar{y} + s_{\bar{x}}) - 1$		0.2008		0.2949		0.2593×10^{-1}		0.1320×10^{-1}		0.6092×10^{-1}	
$\text{untilog}(\bar{y} - s_{\bar{x}}) - 1$		0.9417×10^{-1}		0.1520		0.1004×10^{-1}		0.3298×10^{-2}		0.2730×10^{-1}	

注) 1974年は50葉/樹

第5表 キンモンホソガ第4世代の分散分析及び平均と分散の推定値

要 因	自由度	1974		1976		1977		1979	
		平方和	分散	平方和	分散	平方和	分散	平方和	分散
地 区	10	71.3075	7.1308	4.4307	0.4431	79.3905	7.9391	26.6140	2.6614
地区内園	22	125.3370	5.6971	7.5460	0.3430	3.4306	0.1559	31.3569	1.4253
園内樹	132	29.4850	0.2234	2.2457	0.0170	4.7049	0.0356	7.8169	0.0592
樹内葉	4785	240.1210	0.0502	39.2825	0.0082	50.9349	0.0106	93.2086	0.0194
合 計	4949	366.2505		53.5049		138.4009		158.9966	
平 均		0.2888		0.2829×10^{-1}		0.5346×10^{-1}		0.7597×10^{-1}	
$\hat{\sigma}^2$		0.5018×10^{-1}		0.8210×10^{-2}		0.1065×10^{-1}		0.1940×10^{-1}	
$\hat{\sigma}_t^2$		0.5773×10^{-2}		0.2935×10^{-3}		0.8333×10^{-3}		0.1327×10^{-2}	
$\hat{\sigma}_o^2$		0.3649×10^{-1}		0.2173×10^{-2}		0.8019×10^{-3}		0.9107×10^{-2}	
$\hat{\sigma}_p^2$		0.3186×10^{-2}		0.2224×10^{-3}		0.1730×10^{-1}		0.2747×10^{-2}	
算術平均		1.6190		0.1110		0.3130		0.5570	
$S_{\bar{x}}^2$		0.1441×10^{-2}		0.8952×10^{-4}		0.1604×10^{-2}		0.5377×10^{-3}	
S_x		0.3795×10^{-1}		0.9461×10^{-2}		0.4005×10^{-1}		0.2319×10^{-1}	
幾何平均		0.9445		0.6731×10^{-1}		0.1310		0.1912	
$\text{untilog}(\bar{y} + s_{\bar{x}}) - 1$		1.1220		0.9081×10^{-1}		0.2403		0.2565	
$\text{untilog}(\bar{y} - s_{\bar{x}}) - 1$		0.7818		0.4431×10^{-1}		0.3136×10^{-1}		0.1292	

第6表 分散分析による標準誤差(±S \bar{y})の算術平均と幾何平均に対する割合(%)

			1974	1975	1976	1977	1978	1979
第1世代	算術平均	上限	35.4	41.6	28.2	51.8		25.5
		下限	35.2	41.1	28.1	51.4		24.9
	幾何平均	上限	37.7	65.6	39.3	87.4		39.4
		下限	37.8	64.9	39.1	86.8		38.5
第2世代	算術平均	上限	25.4	24.8	17.9	44.5	23.5	40.0
		下限	25.2	24.4	17.8	44.3	33.1	39.6
	幾何平均	上限	33.8	37.8	51.8	63.4	49.8	60.9
		下限	33.6	37.2	51.6	63.1	49.2	60.3
第3世代	算術平均	上限	20.3	19.6	27.6	41.0		22.8
		下限	19.4	18.5	27.4	40.8		22.4
	幾何平均	上限	37.3	33.3	44.5	60.3		38.5
		下限	35.6	31.3	44.1	60.0		37.9
第4世代	算術平均	上限	11.0		21.2	34.9		11.7
		下限	10.7		20.7	31.8		11.1
	幾何平均	上限	18.8		34.9	83.4		34.2
		下限	17.2		34.2	76.1		32.4

ら求めた算術平均とともに第2表から第5表の下段に付加した。幾何平均は一般に算術平均よりも小さく、平均では第1世代が70.5%、第2世代が70.9%、第3世代が57.7%、第4世代が48.8%であった。

対数変換によって求めた平均±標準誤差を真数に変換した2つの値と幾何平均の差をそれぞれ+S \bar{y} (上限)、-S \bar{y} (下限)とし、これらの諸値の幾何平均及び算術平均に対する比率を求め、第6表に示した。

これによると第1世代では幾何平均に対する+S \bar{y} が37.9%から87.4%、-S \bar{y} が37.8%から86.8%、算術平均に対する+S \bar{y} が28.2%から51.8%、-S \bar{y} が28.1%から51.4%であった。+S \bar{y} と-S \bar{y} の絶対値の違いはほとんど無視しうるものとみなせる。+S \bar{y} と-S \bar{y} の差は以降の世代でも同様に無視でき、第2世代から第4世代までの幾何平均に対する比率は20~80%、算術平均に対する比率は10~50%であった。

次に、ここで求めた分散を用いて、巡回調査による精度がどの程度かを推定することにする。巡回調査では密度でなく潜孔葉率についての調査であるが、第II章で示した(8)あるいは(9)の変換式から求められる密度の推定値は、一般のリンゴ園における発生の範囲ではかなり信頼度が高いものであると考えられる。河野らの経験式は、それ自体からも予想されることであるが、これまでの多くの害虫に対する適用例(例えば山田ら1977; 藤家ら1975, 1977; 内田1977; 森ら1977)からも経験的に明らかかなように、Pが1に接近すると適合が悪くなるが、

中庸程度までは推定値と実測値の差はあまり大きくないからである。従って、りんご試料を通常の抽出調査における標本数決定のための予備調査のような形で用いる分には妥当性を欠くものではないと思われる。

一般に、地点数を N_p 、地点当りの園数を N_o 、園当りの調査樹数を N_t 、1樹当りの調査果そう(又は葉)数を N_l とした多段抽出では、全体の平均密度の標準誤差 $\sigma_{\bar{y}}$ の期待値 $\hat{\sigma}_{\bar{y}}$ は

$$\hat{\sigma}_{\bar{y}} = \sqrt{\frac{\hat{\sigma}_p^2}{n_p} + \frac{\hat{\sigma}_o^2}{n_o n_p} + \frac{\hat{\sigma}_t^2}{n_t n_o n_p} + \frac{\hat{\sigma}^2}{n_l n_t n_o n_p}} \quad (15)$$

によって表わされる。従って、津軽地域の場合は

$$\hat{\sigma}_{\bar{y}} = \sqrt{\frac{\hat{\sigma}_p^2}{60} + \frac{\hat{\sigma}_o^2}{60} + \frac{\hat{\sigma}_t^2}{300} + \frac{\hat{\sigma}^2}{9000}}$$

南部地域の場合は

$$\hat{\sigma}_{\bar{y}} = \sqrt{\frac{\hat{\sigma}_p^2}{30} + \frac{\hat{\sigma}_o^2}{30} + \frac{\hat{\sigma}_t^2}{150} + \frac{\hat{\sigma}^2}{4500}} \\ = \sqrt{2} \hat{\sigma}_{\bar{y}}$$

によって、平均密度の標準誤差を推定することができる。第2表から第5表までの結果から明らかかなように、得られた分散 $\hat{\sigma}_p^2$ 、 $\hat{\sigma}_o^2$ 、 $\hat{\sigma}_t^2$ 、 $\hat{\sigma}^2$ は全体の平均密度が高ければ大きくなる傾向を示し、安定していない。したがって、これらの分散をそれぞれ1つの値によって代表させるわけにはいかないが、1つの方法としては巡回調査

によって得られた潜孔葉率の変換値が第2～第5表に示したりんご試資料による平均密度と最も近似しているものの分散を用いることによって、おおよその誤差を推定することができよう。前述したように、りんご試資料と防除所資料による平均密度の相関をみたところ、第1世代では $r=0.832$ 、第2世代から第3世代では $r=0.883$ という値が得られている。この場合、りんご試資料による密度推定値が防除所資料による推定値よりも高い傾向を示すといった問題もあったが、ここでは両調査結果の

推定平均密度が近似したものの分散を用いる方法ではなく、簡略的に各年次の同一世代の分散を津軽地域の防除所資料にあてはめて $\hat{\sigma}_{\bar{y}}$ を算出し、推定密度に対する比率を求めた。密度が高いものの分散を用いるということは過大評価された $\hat{\sigma}_{\bar{y}}$ を用いることになるので、この方法で防除所資料を検討することはより厳しい評価を与えることはあっても甘い評価となるおそれは回避できるとみなされる。その計算結果は第7表に示した。

推定平均密度に対する誤差の比率（相対精度）は第1

第7表 りんご試資料による各年次における世代ごとの統計量を用いて推定した津軽地域の標準誤差 $\hat{\sigma}_{\bar{y}}$ と平均密度に対する割合

	第1世代		第2世代		第3世代		第4世代	
	$\hat{\sigma}_{\bar{y}}$	$\hat{\sigma}_{\bar{y}}$ の平均密度に対する%	$\hat{\sigma}_{\bar{y}}$	$\hat{\sigma}_{\bar{y}}$ の平均密度に対する%	$\hat{\sigma}_{\bar{y}}$	$\hat{\sigma}_{\bar{y}}$ の平均密度に対する%	$\hat{\sigma}_{\bar{y}}$	$\hat{\sigma}_{\bar{y}}$ の平均密度に対する%
1974	—	—	0.1821×10^{-2}	13.3	0.2140×10^{-1}	10.9	0.2619×10^{-1}	3.6
1975	0.2565×10^{-2}	17.3	0.5137×10^{-2}	14.8	0.1729×10^{-1}	17.1	—	—
1976	0.8979×10^{-3}	27.2	0.8262×10^{-3}	18.4	0.2252×10^{-2}	3.2	0.6466×10^{-2}	1.8
1977	0.2338×10^{-2}	212.6	0.1304×10^{-2}	93.2	0.9851×10^{-3}	10.1	0.1748×10^{-1}	15.3
1978	—	—	0.2200×10^{-2}	9.2	—	—	—	—
1979	0.5019×10^{-2}	18.6	0.2971×10^{-2}	53.1	0.4224×10^{-2}	2.4	0.1429×10^{-1}	2.7

世代では17%～213%、第2世代では9%～93%、第3世代では2%～17%、第4世代では2%～15%であり、1977年にみられた第1世代の213%、第2世代の93%を除けば大部分が20%以内となっており、広域面積を対象としたこの種の資料としてはかなり精度が高い部類に属するとみなすことができる。南部地域と津軽地域の平均密度が等しい場合には前者の誤差は後者の $\sqrt{2}$ 倍と期待される。次の章でさらに詳しく論じられるように、キン

モンホソガの年内の世代間変動及びある世代の年次変動の大きさを考慮すれば、この程度の精度でも本稿の目的を達成するには十分であると考えられる。すなわち、この程度の精度でも2、3倍とか $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{1}{3}$ といった比較的小さい変化もとらえることができるからである。なお、1977年の標準誤差が他の年と比較して顕著に大きい値を示していたが、これは1977年のキンモンホソガの発生が極めて少なかったことによる。

V 津軽地域と南部地域における経時変動様式

個体群の経時変動は平均としての密度水準の高さ、密度の変動の大きさ並びに変動の性格すなわち自然調節の強さという3要素によって特徴づけられる（久野1969）。これらの特徴を明確にし、その機構を解明することは本稿の主要な目的である発生量の予察に対して理論的な根拠を与える上で重要である。しかし、これらの機構を解明するためには単なる実態調査だけでは限界があり、実験的な操作ないしは生命表的な手法を加える必要がある。我々はキンモンホソガ個体群動態の解明のため1975年以来数か所のステーションにおいて、毎世代の密度調査と生命表の作製を行ってきた。以下ではこれによって得られた情報のうちで、本稿で取り扱っている広域資料の解釈へ援用しようと思われるものは可能な限り活用

し、津軽地域と南部地域の経時変動様式の特徴づけとその機構について考察する。

今、第*i*世代の密度を D_i とすれば、これを対数変換することによって

$$\log D_i = \log D_{i-1} + \log r_{i-1} \quad (16)$$

が成り立つ。ここで、 r_{i-1} は第*i*-1世代から第*i*世代にかけての世代当たりの増殖率であり、本稿の場合には、後に述べるように、さらに3つの構成要素に分けられる。以下の各節で指摘するように、密度を対数変換し、 $\log D_i$ と $\log r_i$ を求めておくことと解析上便利なので、これらの計算結果を第8表に示した。本章の各節における解析は、この表に基づいている。

第表8 対数値で示した各世代の密度と増殖率

(i) 津軽地域

	密 度				増 殖 率			
	第1世代	第2世代	第3世代	第4世代	第1世代	第2世代	第3世代	第4世代
1974	(-3.1823)	-1.8633	-0.7089	-0.1325	1.3190	1.1544	0.5764	-2.4051
1975	-2.5376	-1.4609	-0.9961	-0.2094	1.0767	0.4648	0.7867	-2.8368
1976	-3.0458	-2.3468	-1.1593	(-1.0179)	0.6990	1.1875	0.1414	-2.3800
1977	-3.3979	-2.8539	-2.0088	-0.9427	0.5440	0.8451	1.0661	-1.7793
1978	-2.7212	-1.6198	-1.0985	-0.2221	1.1014	0.5213	0.8764	-2.1058
1979	-2.3279	-2.2518	-0.7555	-0.6296	0.0761	1.4963	0.1259	—
平 均	-2.8061	-2.0661	-1.1212	-0.4273	0.6994	0.9449	0.7129	-2.2817
最 大	-2.3279	-1.4609	-0.7089	-0.1325	1.3190	1.4963	1.0661	-1.7793
最 小	-3.3979	-2.8539	-2.0088	-0.9427	0.0761	0.4648	0.1414	-2.8364
分 散	0.1789	0.2681	0.2218	0.1208	0.1792	0.1653	0.0954	0.2021
標準偏差	0.4230	0.5178	0.4710	0.3476	0.4233	0.4066	0.3089	0.4496
標準誤差	0.1892	0.2114	0.1923	0.1554	0.1893	0.1660	0.1381	0.2248

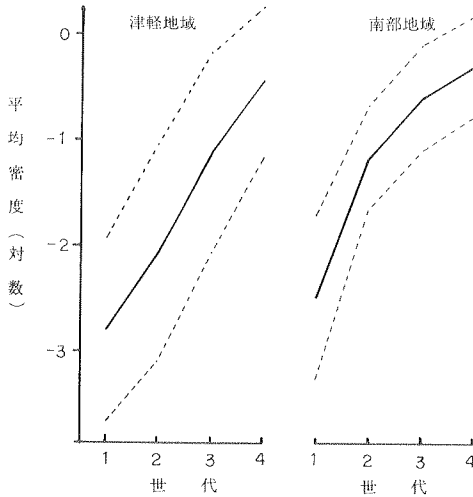
() はりんご試資料による推定値

(ii) 南部地域

	密 度				増 殖 率			
	第1世代	第2世代	第3世代	第4世代	第1世代	第2世代	第3世代	第4世代
1974	-2.3547	-1.2604	-0.8703	-0.4096	1.0943	0.3901	0.4607	-2.2754
1975	-2.6850	-0.8703	-0.3684	-0.1195	1.8147	0.5019	0.2489	-2.5655
1976	-2.3429	-1.2941	-0.9048	-0.6981	1.0488	0.3893	0.2067	-2.4174
1977	-3.1155	-1.5467	-0.5426	-0.1421	1.5688	1.0041	0.4005	-2.2126
1978	-2.3547	-0.9555	-0.3034	-0.0949	1.3992	0.6521	0.2085	-2.1000
1979	-2.1949	-1.0655	-0.6388	-0.3423	1.1294	0.4267	0.2965	—
平 均	-2.5080	-1.1654	-0.6047	-0.3011	1.3425	0.5607	0.2946	-2.3142
最 大	-2.1949	-0.8703	-0.3034	-0.0949	1.8147	1.0041	0.4005	-2.1000
最 小	-3.1155	-1.5467	-0.9048	-0.4096	1.0488	0.3893	0.2067	-2.5655
分 散	0.1145	0.0624	0.0624	0.0544	0.0941	0.0570	0.0082	0.0329
標準偏差	0.3384	0.2498	0.2498	0.2332	0.3068	0.2388	0.0906	0.1813
標準誤差	0.1382	0.1020	0.1020	0.0952	0.1253	0.0974	0.0370	0.0811

1. 両地域における増殖様式の特徴

6年間にわたる各世代の平均密度を求め、第2図に実線で示した。



第2図 各世代の平均密度(実線)と土標準偏差×2(点線)

津軽、南部いずれの地域でも世代の経過に伴って密度が増大し、最終世代の第4世代で最高密度に達した。両地域における増殖の様相には1つの大きな相違が認められた。すなわち、津軽地域では第1世代から第4世代にかけてほぼ直線的に増殖する傾向がみられたのに対し、南部地域では世代が進むに従って増殖率が低下し、飽和型の増殖を示した。両地域の潜孔数は第1世代が1000枚の葉に2~4個、第4世代が10枚に5~6個が平均的な水準で、地域間の相違は大きくないが、南部地域の第2世代が津軽地域の第3世代とほぼ同じ水準を保ち、南部地域の第3世代が津軽地域の第3世代と第4世代の間的な水準を示した。

(6)式から第4世代の密度 $\log D_4$ は

$$\log D_4 = \log D_1 + \log r_1 + \log r_2 + \log r_3$$

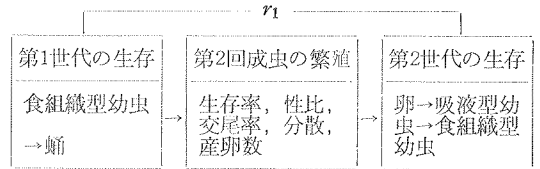
として表わすことができるが、 $\log D_1$ と $\log D_4$ には両地域間で大きな相違が認められないから、全増殖率 ($\log r_1 + \log r_2 + \log r_3$) には大差がないことになる。結局のところ、両地域の違いは全体の増殖率の各世代に対する配分の違いとしてとらえることができる。

そこで、両地域における各世代間の増殖率 (r_i) の大きさの違いが何によってもたらされるかについて、世代を追って考えることにする。

i) 第1世代から第2世代の増殖率の差異

本調査における第1世代から第2世代までの増殖率 (r_1) は次の模式図に示されるように、第1世代の食組

織型幼虫から蛹期における生存、第2回成虫の繁殖、第2世代の卵から食組織型幼虫に至るまでの生存の3つの過程から構成されている。



そこで、両地域における r_1 の違いに対して、これら3つの構成要素のうちどれが相対的に重要かを考察する。

ア. 第1世代の生存

これまでのキンモンホソガ個体群の生命表解析によると寄生蜂を主体とする天敵による死亡は食組織型幼虫期に最も多い(例えば、SEKITA *et al.*, 1979)。一方、キンモンホソガの防除剤はそれぞれの特性によって、成虫、卵、吸液型幼虫のいずれかあるいは2、3の发育段階に有効なものがあるが、食組織型幼虫や蛹にはほとんど効果がない。従って、この過程で両地域に差異があるとすれば、寄生蜂の働き方に差異があると考えられる。これまで、防除体系の異なるほ場における生命表解析によると、キンモンホソガを対象とするかしないかにかかわらず、通常の殺虫剤散布が徹底しているほ場では、天敵の働きが少ないのが一般的な傾向である。そのため、このようなほ場では食組織型幼虫以降の死亡がほとんどみられない(関田1976, 川嶋ら1978)。リンゴ園が連続的に広範囲に分布し、これらの大部分が共同防除体系下にある津軽地域での防除圧は、リンゴ園がパッチ状に分布している南部地域の防除圧よりも強いと考えるのが妥当であろう。この想定が正しいとすれば、天敵の働きは津軽地域よりも南部地域の方が大きいと考えられるので、増殖率は津軽地域の方が大きいと期待される。しかし、この間の実際の増殖率は南部地域の方が大きい。したがって、両地域において天敵の働きに違いがあることは想定できても、これが第1世代から第2世代の増殖率の差異の主要な要因とは考えにくい。

イ. 第2回成虫の繁殖

両地域における第1世代から第2世代までの増殖率の幾何平均は津軽地域が5.5倍に対し、南部地域が22.0倍で大きな違いがある。両地域におけるキンモンホソガの成虫の寿命、性比、交尾率、産卵数など繁殖に関与する生理的要素がこの違いを説明しうるほど本質的に差異があるということは考えにくいことから、これが関与している可能性は少ないものとみなされる。又、成虫の分散の影響として、第1世代の発生が局所的であり、第2世代の発生が第2回成虫の分散によるといったことがある

とすれば、リンゴ園の分布状況といった環境の違いを通じて、地域的な差異が生じる可能性はある。しかし、この場合は、リンゴ園が連続的に広範囲に分布する津軽地域の方がパッチ状に分布する南部地域よりも分散した成虫の定着率が高いと考えるのが自然であるが、現実認められる増殖率は南部地域の方が高いので、これが重要とは考えにくい。したがって、この過程で地域的な差異があるとすれば、防除圧の違いによる成虫の死亡が重要であろう。

ウ. 第2世代の生存

一般に卵から吸液型幼虫期にかけての天敵による死亡は少ない(例えば、SEKITA *et al.*, 1978)。一方、前にも述べたように、この間には人為的な防除圧が加わるので、もしもこの過程で死亡率に地域的な差異があるとすれば、防除圧の違いが重要であろう。

これまで r_1 を構成する3要素について逐次類推的な考察をしたが、いずれの構成要素が地域的な差異の主体となっているかは別としても、何らかの形で防除圧の違いが関与していることは確実のように思われる。

ii) 第2世代以降の増殖率の差異

第2世代から第3世代、第3世代から第4世代にかけての増殖率は津軽地域の方が南部地域よりも平均的に高かった。前述したように、第4世代の密度は南部地域が若干高いが、両地域ともほぼ近似した水準で終っていることから、ここで示された水準くらいが通常の条件における地域全体でみた場合の上限であろうと推察される。もし、そうであるとすれば、津軽地域では先に述べたように第2世代の密度が低いいため、キンモンホソガの密度が上限よりもずっと下まわるのに対し、南部地域ではすでに第2世代で上限に接近していることになる。そのため、第2世代以降の増殖率(r_2 , r_3)に及ぼす密度依存的な関係(過程)が津軽地域よりも南部地域の方で厳しいと考えられる。また、第1世代から第2世代の増殖率の項でも考察したように、津軽地域は南部地域よりも防除圧が高いとみられ、そのため天敵の作用は逆に津軽地域で弱いと推定される。したがって、次項で詳しく論じる寄生蜂の世代遅れの効果の蓄積も無視しえないであろう。

iii) 越冬期の増殖率の差異

前にも述べたように、両地域間には第1世代と第4世代の密度水準に大きな相違が認められなかった。これは第4世代から翌年の第1世代にかけての増殖率 r_4 に大きな相違が認められないということでもある。一方、越冬蛹数に対する第1回成虫羽化数の比としてみた越冬期の生存率は、越冬期の積雪による圧死など直接的な影響と落葉の相互癒着による成虫の死にごもりなど間接的な影響を受け(山田ら1980; 氏家ら, 未発表), 積雪量の多い津軽地域の方が積雪量の少ない南部地域よりも死亡

率が高い(山田ら1980)。これは本稿の結果と矛盾するようにも思われるが、本稿では前年の第4世代と当年第1世代の食組織型幼虫期の増殖率 r_4 を問題としているのに対し、山田らの越冬期の生存率の調査では越冬前の蛹と越冬後に落葉から脱出した成虫までの期間を対象としていることによると思われる。この場合、両地域の越冬期の生存率の違いを相殺する要因ないしは要因の働さうる時期としては次の3つが考えられる。

ア. 寄生蜂の世代遅れの効果

キンモンホソガの主要な寄生蜂はキンモンホソガトビコバチ *Holothorax testaceipes* RATZBURG と数種のヒメコバチである。前者はキンモンホソガの卵に寄生し、寄主が蛹化する直前にそれをマミー化して死に至らしめる。後者は多くの場合、食組織型幼虫に捕食寄生する。ところで、本稿の調査では食組織型幼虫期を調査の対象としているが、キンモンホソガが寄生を受けているかどうかは区別していないので、調査時点における潜孔密度にはキンモンホソガの健全虫と同時に寄生を受けたものも含まれている。一方、これまで述べてきたように防除圧は津軽地域よりも南部地域が低いと想定されるが、第3世代の後半からは両地域とも防除圧がまったく加わらないので、第4世代の食組織型幼虫期におけるキンモンホソガの生存虫に対する寄生を受けたものの比率は南部地域の方が高い可能性がある。もしも、このようなことが現実にあるとすれば、越冬蛹の生存率が南部地域で高くても r_4 の実現値は低下するであろう。なお、この仮定を間接的に支持する資料が南部地域の3か所の消長調査ほ場で得られている。これによると越冬後の生蛹数(A)、寄生蜂以外の要因による死蛹数(B)及び寄生蜂による死亡数(C)の合計値(A+B+C)に対するCの比で表わした寄生率は1978~1980年の平均で57.1%であり、(A+C)に対するCの比では72.6%であった。津軽地域ではこれと直接対比できる資料はないが、初冬の落葉における調査で得られる天敵寄生率は一般防除園ではこのような高い値があまり得られていない(山田ら, 未発表)。

イ. 第4世代の食組織型幼虫期から越冬蛹までの期間

第4世代の食組織型幼虫が蛹に達する割合は落葉の時期が早いほど低い(山田ら, 未発表)。一方、両地域のリンゴの品種構成は異なり、南部地域では早生~中生種の比率が津軽地域よりも高い(青森県1980)。一般に早生~中生種の落葉時期は晩生種よりも早いので、キンモンホソガの寄主植物を通じて、第4世代の蛹化率が異なる可能性もある。

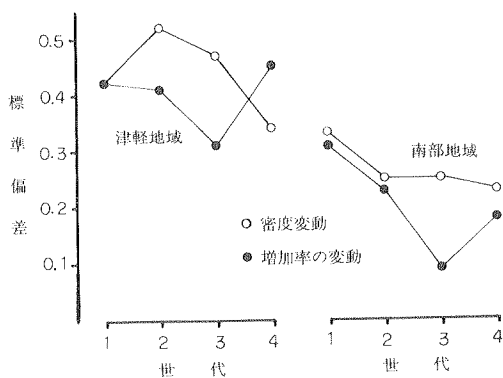
ウ. 落葉から脱出した成虫から第1世代の食組織型幼虫期までの期間

この時期には両地域とも成虫期~幼虫期を対象としてキンモンホソガの防除剤が散布される。しかし、防除圧

は津軽地域の方が高いと想定されるので、これは両地域の増殖率の差を相殺する方向には働かないと考えられる。一般的に、南部地域では雪積が少ないので、早春の地表面の温度上昇は津軽地域よりも早いとみなされる。このような微気象的な相違によって、寄主植物の生態と第1回成虫羽化期の一致性に地域的な差異があり、雌成虫の実現産卵数が異なることも考えられる。そこで、両者の一致性についてこれまでの資料を用いて若干の検討を行ったが、キンモンホソガ成虫の羽化がリンゴの発育生態とずれる例は両地域とも認められなかった。

2. 両地域における各世代密度の年次変動の大きさ

対数変換値を用いると変換値の標準偏差はもとの値の変動係数 (s/\bar{x}) に比例するので平均値の影響が除かれる。したがって、分散あるいは標準偏差の値は変動性の指標として世代間、あるいは地域間などの比較に使用できる(久野1968)。そこで、両地域における各世代密度と世代間増殖率の標準偏差を求め、第8表に付加し、第2図の平均密度の推移線の上下に平均密度±標準偏差×2として求めた各値を点線で結んだ。



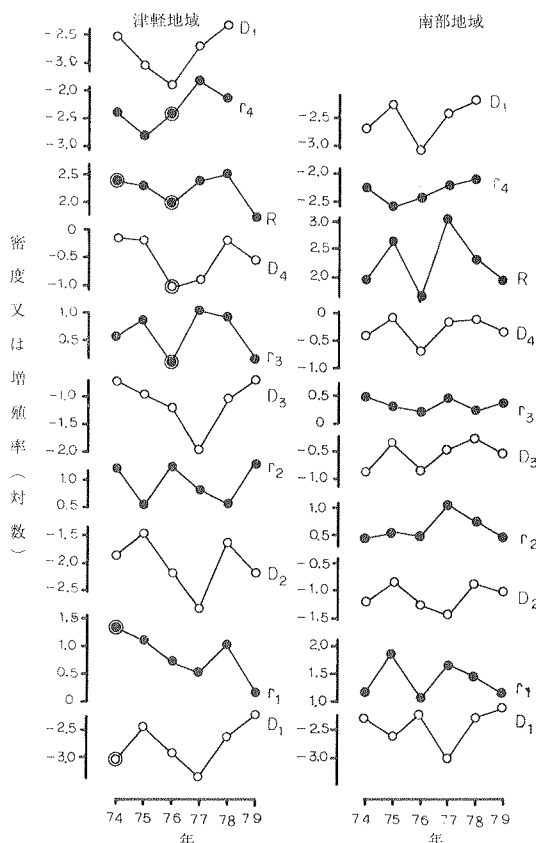
第3図 密度と増加率の変動の大きさ

又、第3図には両地域における各世代の密度と増加率の変動の大きさを傾向線として示した。

第3図からも明らかなように、密度変動の大きさは津軽地域では第2世代が最も大きく、その後世代の経過に伴って減少したのに対し、南部地域では第1世代が最も大きく、以降世代の経過とともに減少した。各世代でみられた最小密度と最大密度の比を真数で示すと、津軽地域の第1世代、第2世代、第3世代及び第4世代がそれぞれ12倍、25倍、20倍及び6倍であり、南部地域ではそれぞれ8倍、5倍、4倍及び4倍であった。又、第2図の上下の点線の範囲には母集団の95%が含まれると考えられるが、その上下線の比率を真数で示すと、津軽地域の

4つの世代がそれぞれ49倍、118倍、77倍、25倍であり、南部地域では23倍、10倍、10倍、9倍であった。このように各世代の対比でも、全体的にみても、一貫して津軽地域における密度変動が南部地域よりも大きかった。第3図によると増殖率の変動も津軽地域が南部地域よりも大きい値を示している。その内容をみると、津軽地域で最も大きいのが第4世代から翌年の第1世代にかけてであり、それに続いて第1世代～第2世代、第2世代～第3世代、第3世代～第4世代の順であった。一方、南部地域では第1世代～第2世代の増殖率の変動が最も大きく、その後逐次減少したのも、第4世代～第1世代で若干増大した。

両地域における密度の変動と増加率の変動の違いをもたらす要因については、自然調節の項で考察を加えることにし、次に、各世代の年次変動に対するその構成要素の相対的重要性について検討したい。



第4図 ある世代の密度の年次変動に対する前世代密度(D)と増殖率(r)の相対的重要性の比較(Dとrの添字は世代に対応、Rは年間の増殖率、二重丸はりんご試資料からの推定値)

(6)式に示したように、対数変換値では第*i*世代の密度 $\log D_i$ は前世代の密度 $\log D_{i-1}$ とその間の増殖率 $\log r_{i-1}$ の和としてあらわされるので、 $\log D_i$ とこれを構成する2つの要素 $\log D_{i-1}$ 及び $\log r_{i-1}$ の相互関係を検討することによって、相対的な重要性を知ることができる。そこで、 $\log D_i$ と $\log r_i$ を年次ごとに対比し、前世代の密度と増殖率の変動のうちで、どちらが当世代の年次変動に強く関係しているかを検討した(第4図)。これは生命表分析における基本要因分析に相当し、このような形で図上の比較を行なう方法は VARLEY and GRADWELL (1960) によって生命表分析の手法として提唱されたものを、久野(1969)が稲ウンカ・ヨコバイ類のピーク世代の密度変動とそれを構成する初期侵入世代密度と各世代の増殖率の相対的な重要性を評価するための手法として応用したものと基本的には同じである。

まず、第2世代の変動に対して第1世代の密度と増加率のどちらが重要かを検討する。津軽地域では第2世代の密度が1974年から1978年まで第1世代の密度と平行的に変化した。1974年の第1世代の密度がりんご試資料からの推定値なので除外したとしても、連続して4年間同じ傾向が保たれたことになる。しかし、1979年にはこれまでの傾向が崩れ、第1世代が6年間のうちで最高密度を示したにもかかわらず、第2世代の密度は6年間の平均値よりも低い密度となった。増殖率との関係では第2世代密度は1975年以降一貫して平行的に変化した。一方、第1世代の密度と増殖率の間にも1975年から1978年までは平行的な関係が認められ、1979年にこの関係が崩れた。このように両構成要素が第2世代と平行的に変化しているので、今の段階ではどちらが相対的に重要かは結論を下せない。南部地域における第2世代の密度は第1世代の密度とその間の増加率のいずれとも無関係に変化していた。これは第1世代の密度と増殖率が独立ではなく、相補的に変化したためである。応用的な発生予察の立場からは、津軽地域の第2世代の予察が南部地域のそれよりも容易であろうと推察される。

次に、第3世代の密度の変動を検討する。津軽地域における第3世代の密度変動は1975年から1978年までの連続4年間は第2世代の密度と平行的に変化した。1974年と1979年はこの傾向からはずれた。一方、第2世代の密度と増殖率は最低密度を示した1977年を除けば相補的に変化した。南部地域の第3世代は、第2世代が最低密度を示した1977年を除けば、第2世代の密度と平行的に変化した。2つの構成要素間の関係をみると、第2世代が最低密度を示し、増殖率が最大を示した1977年の例を除けば、ほぼ平行的な関係が認められた。しかし、増殖率の変動は1977年を除けば小さいため、両者の関係は弱いものとみなされた。応用的な立場からは、第3世代の密

度の予測は両地域とも比較的容易であると考えられる。

第4世代の密度変動に対する第3世代密度と増殖率の2つの要素の関連性は、津軽地域ではいずれも薄く、どちらが重要とも言えない。これは、第4世代の密度をりんご試資料から推定した1976年を除けば、2要素が相補的に変動していたためである。一方、南部地域では、第4世代の密度が第3世代の密度と平行的に変化していたのに対し、増殖率は年次変動が小さく、第3世代と第4世代のいずれの密度とも関連性が薄かった。したがって、相対的には第3世代の密度が第4世代の密度変動と深くかかわっているとみなされる。応用的な立場からは、第4世代の場合南部地域の方で予測し易いとみなされる。

最後に翌年の第1世代について検討する。津軽地域では5年間の資料のうち、1977年第4世代の密度がりんご試資料からの推定なので十分な検討はできないが、概して第4世代の密度と平行的に変動していた。南部地域では第4世代の密度が翌年の第1世代と平行的に変化しており、第4世代の密度が相対的に重要であるとみなされる。

ところで、キンモンホソガによる被害を考えた場合、年間の累積密度の高低も重要とみられる。一般に、リンゴの葉数は5月下旬～6月上旬頃までは増加するが、その後10月下旬～11月上旬頃の自然落葉期まではあまり変化がみられない(山田ら、未発表)。一方、キンモンホソガ食組織型幼虫期の各世代における出現盛期は5月下旬、7月上旬、8月中旬、9月下旬頃なので、1つの潜孔による単位時間当りの植物体への影響が同じという単純な仮定のもとでは、各世代の潜孔当りの影響の度合いはおおむね15:11:8:3と計算される。この比と各世代の幾何平均密度から年間を通じた平均的な影響の度合いを求めると津軽地域では0.023:0.094:0.605:1.122となり、南部地域では0.047:0.752:1.988:1.500となる。全体を通じてみると津軽地域の1.844に対し、南部地域では4.287が得られ、各世代の重要度は津軽地域では1.2%、5.1%、32.8%、60.8%、南部地域では1.1%、17.5%、46.4%、35.0%となる。この仮定には、吸液型幼虫の潜孔による影響、世代による潜孔面積の相違(高橋ら1964)、植物体の補償作用などを加味していないので問題はあるが、おおまかな傾向をとらえるには意義あるものと考えられ、第3世代と第4世代の影響が大きいことが指摘される。ここにおいて、ピーク世代でもあり、被害を考慮しても重要と考えられる第4世代の密度変動に注意を払わねばならない。そこで、第4世代の密度変動に対して第1世代の密度と第1世代から第4世代に至る全増殖率のいずれが相対的に重要かを次に検討する。

津軽地域では6年間の資料のうち、りんご試資料によって推定されている1969年と1977年を除外して検討すると、概して第1世代の密度が重要であるとみなされる。しかし、第1世代の密度と全増殖率には弱いながらも相補的な関係が認められた。一方、南部地域では逆に全体の増殖率が相対的に重要であった。又、第1世代の密度と全増殖率の間には津軽地域よりも強い相補的な関係が認められた。

以上に考察した2構成要素の相対的な重要性は次のように整理される。

対象世代	主要因		要素間の関係	
	津	軽 南 部	津	軽 南 部
第1世代	D_4	D_4	—	—
第2世代	D_1, r_1	—	平行的	相補的
第3世代	D_2	D_2	相補的	平行的
第4世代	—	D_3	相補的	—
第4世代	D_1	R^*	相補的	相補的

$$* \log R = \sum_{i=1}^4 \log r_i$$

3. 自然調節の強さ

密度を対数変換値で示した場合、ある世代の密度変動が前世代の変動よりも小さければ、その間に調節過程すなわち密度の増加に伴う増殖率の低下という現象が存在することを示唆する(久野1968)。これは第*i*世代の分散 $V(\log D_i)$ は、2要素間の母相関係数を ρ とすれば

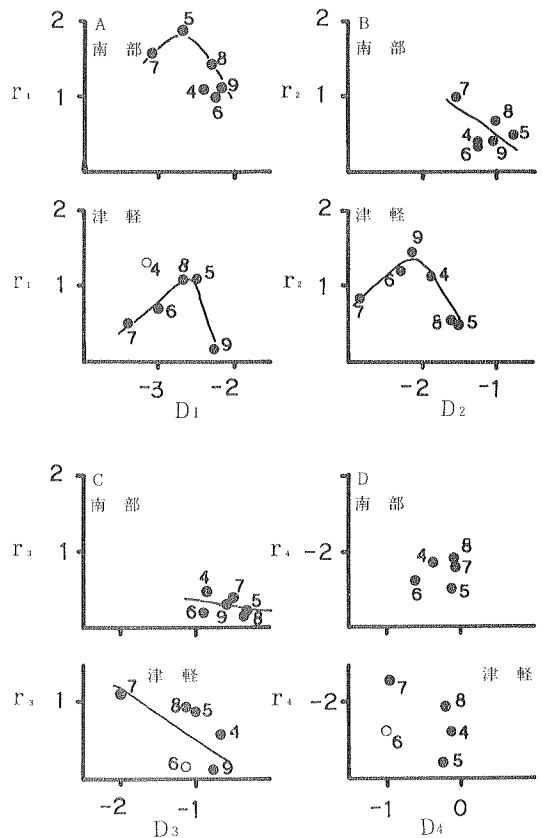
$$V(\log D_i) = V(\log D_{i-1}) + V(\log r_{i-1}) + 2\rho \sqrt{V(\log D_{i-1}) \cdot V(\log r_{i-1})} \quad (6)$$

で示されることから、2要素間の関係が独立すなわち $\rho = 0$ であれば、ある世代の分散は前世代の密度と増殖率の分散の和として表わされ、前世代の分散よりも大きいからである。

各世代の年次変動の大きさを検討した第3図をみると、津軽地域では第2世代～第3世代、第3世代～第4世代で減少傾向が認められ、特に後者の減少が著しかった。南部地域では第1世代～第2世代、第3世代～第4世代に減少傾向が認められ、前者で特に著しかった。これら4つのうち、南部地域における第3世代～第4世代を除いた3例では第4図の基本要因分析でも密度と増殖率の相補的な関係として検出された。

ここで、変動の大きさの減少が調節過程の存在を示唆するが、変化がない場合、あるいは増加した場合に密度

の増加に伴う増殖率の低下という現象がないとは言えないことに注意すべきである。調節としては密度の増加に伴う単調な増殖率の低下のみならず、ある密度水準以上で増殖率が低下するといったこともあり得るのに対し、相関係数は曲線的な関係があってもそれを検出できないからである。このような場合、相関比あるいは相関指数を求めることによって、曲線による回帰関係の強さを知ることも可能であるが、ここでは曲線のあてはめが目的ではないので、密度に対する増殖率の変化を図示し、調節過程の検出を視覚によって試みた(第5図)。



第5図 各世代の密度 (D_i) と増殖率 (r_i) との関係
 a : 第1世代, b : 第2世代, c : 第3世代,
 d : 第4世代
 添字は年次, 津軽地域における白丸はりんご試資料からの推定値

その結果は密度変動の減少傾向によって検出された結果とおおむね一致した。ここで、津軽地域における第2世代～第3世代では曲線関係としてとらえることも可能

であり、同様に第1世代の密度をりんご試資料から推定した1974年を除外すると、津軽地域の第1世代～第2世代でも曲線関係としてとらえることができそうである。又、南部地域の第2世代～第3世代では右がりの傾向としてとらえることもできる。次に、このような調節がどのような機構によってもたらされるかを考察する。

キンモンホソガの場合、密度の増加に伴う増殖率の低下をもたらす機構としては、密度の増大に伴う栄養悪化などによる産卵数の低下、種内競争の激化による生存率の低下、成虫の移動分散率の増大などが内的要因として、天敵の作用率と人為的な防除圧の増大が外的要因として一応考えられる。

以下では、ここで取り上げたものが実際に調節要因(過程)として働きうるかどうかについて個別に考えたい。

ア. 栄養の悪化

栄養の悪化によるキンモンホソガの個体への悪影響は、潜孔内で一定の空間を確保している本種では、ここで取り扱っている密度の範囲では重要とは考えられない。リンゴの葉1枚に10個以上の潜孔を収容しうるので、ここで取り扱っている程度の密度範囲内では個体に悪影響が生じることは考えにくいからである。

イ. 種内競争

キンモンホソガは潜孔の拡大期である吸液型幼虫の初期に、潜孔同志が接触すると競り合い型の競争が起り、これは葉内虫数の増大に伴って増加する(SEKITA *et al.*, 1979)。しかし、このような種内競争はここで対象としている密度水準ではほとんど問題とならず、安定化の機構としては考えられない。

ウ. 移動分散

密度の増加に伴う移動分散の可能性については現在の段階では否定する材料も肯定する材料もない。森下(1950)、ITÔ(1960)らは開放環境にある野外個体群では高密度によって個体の生存率や繁殖率などに悪影響が現われるよりも低い密度水準で移動分散による個体数の安定化がもたらされることを重視しており、成虫の移動分散が個体数の安定化過程として重要な役割を果している例がいくつかの昆虫で報告されているので(例えば、DEMPSTER 1968, 久野 1968, JOHNSON 1969, IWAO 1971, 志賀1979)、キンモンホソガでも個々の園あるいは地点の個体群ではその可能性も十分考えられる。又、これまで数か所のステーションにおける個体群動態の研究から、明らかに移入があったと思われる例が認められている(山田ら, 未発表)。しかし、ここで取り扱っているのは、津軽地域全域あるいは南部地域全域を対象とした平均密度なので、密度に依存した分散が個々の園あるいは地点で生じた場合、それは空間的な密度の均等化

をもたらすと考えるのが自然である。従って、調節過程として働くためには分散の過程で死亡の増加、エネルギー消費による産卵数の減少などを伴うことが前提となる。

エ. 天敵

寄生蜂を主体とする天敵の作用は先に述べたような理由から、本稿で取り扱っている一般園(特に津軽地域)で安定化をもたらしているとは考えにくい、防除圧が弱まる後半の世代ではありうることである。

オ. 防除圧

青森県ではキンモンホソガの防除時期は、越冬蛹からの羽化成虫～第1世代吸液型幼虫期、第2回成虫～第2世代吸液型幼虫期、第3回成虫～第3世代吸液型幼虫期となっている。本稿では各世代の食組織型幼虫期を調査の対象としているので、相続く調査時期の間に防除圧がかかるかどうか及びその間の調節過程の存否とその様式を整理すると次のようになる。

時 期	防除圧	調節過程の存否と様式	
		津 軽	南 部
第4～第1世代	有	—	—
第1～第2世代	有	∧?	∖ ~ ∖ ?
第2～第3世代	有	∖ ~ ∖	∖ ?
第3～第4世代	無	∖	∖

ここで、「—」は2方法のいずれでも調節過程の存在が検出できなかったもの、「∖」、「∧」及び「∧」はそれぞれいずれかの方法あるいは2つの方法で調節過程の存在が示唆され、密度の変化に伴う増殖率の変化が右下がりの傾向、右に偏った凸型曲線及び左に偏った凸型曲線と考えられることを示し、「?」はこれらの関係を強く主張しにくいことを示す。防除圧がかかる期間では、疑わしいものも含めると6例中4例において何らかの形で調節過程の存在が示唆され、調節過程の存在が検出されないのは両地域とも前年の第4世代から当年の第1世代にかけての減少期であった。この結果からは防除圧が密度依存的に働いているかどうかの結論は下せない。一方、防除圧がほとんど加わらない第3～第4世代の時期にはいずれも調節過程の存在が示唆された。

害虫の防除を考える上で、要防除水準あるいはそれを決定する上で重要な背景となる被害許容水準の設定が重要であるが、リンゴの害虫では多くの場合おおまかな目安さえも設定されていないのが現状である。このような状況のもとでは、個々の害虫に対する防除対策がその絶対的な発生量ないしはそれによる被害よりも個々の園ないしは地域内での害虫間ないしは同時期の年次比較で相

対的に目立つもの、あるいは圏間ないしは地域間での相互比較で目立つものが防除の主要な対象になりがちである。この場合、防除圧は密度依存的に働くことよりも攪乱的に働くことの方が多いとみなされる。

これまで、考えられる5つの要因について類推的な考察をしたが、キンモンホソガの個体数調節機構のもっともらしい説明を与えることはできなかった。HUEEAKER and MESSENGER (1964) と RICHARDS and SOUTHWOOD (1968) は種々の要因が個体群の変動に占める相対的な重要性を、当該個体群がその種の分布圏からみて中央部に位置するか周縁部に位置するかといった観点からとその個体群の環境条件の安定性の観点から、模式図

による一般化を試みた。彼らは分布圏の中央部から周縁部に向かうに従って調節過程の役割が減少する反面、攪乱過程の役割が増大し、同様に生息環境が不安定になるに従って調節過程よりも攪乱過程の役割が増大すると考えた。第2節で明らかにしたように、津軽地域の方が南部地域よりも密度及び増殖率の変動が大きい。これは津軽地域の環境が南部地域よりも安定性が低いことを暗示する。人為的な防除圧はキンモンホソガのみならず、その天敵類に対しても攪乱的に作用するとみなされるので、両地域における防除圧の違いによる直接的な影響と、天敵の作用を通じてもたらされる間接的な影響とが複雑にからみあっていると考えられる。

VI 発生量の予察

先に示したように第*i*世代の密度は、

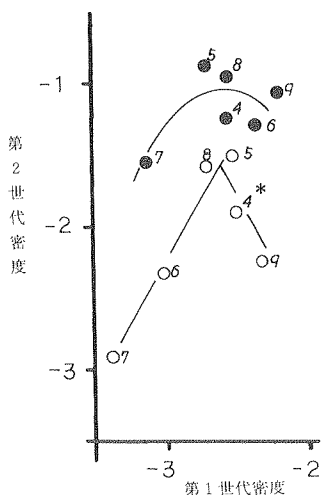
$$\log D_i = \log D_{i-1} + \log r_{i-1} \quad (16)$$

として表わされる。したがって、増殖率が密度に依存しない場合には、過去の資料から世代ごとに求めた増殖率の平均値 $\log \bar{r}_i$ を利用することによって

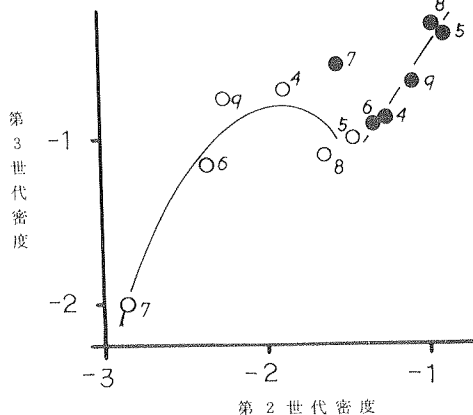
$$\log D_{i+1} = \log D_i + \log \bar{r}_i \quad (16')$$

として当世代の密度から次世代の密度の予察が可能である。しかし、前章で考察したように、 $\log D_i$ と $\log r_i$ とは独立ではなく、地域あるいは世代によって両者の関係は異なった。第5図にもみられるように、ある密度付近

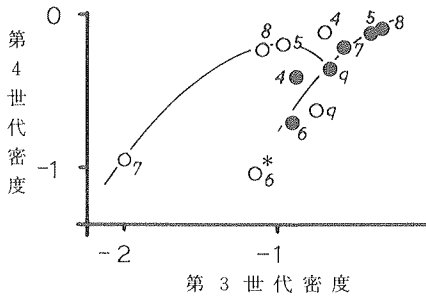
を中心に、それ以下では密度逆依存的な関係、それ以上では密度依存的な関係としてとらえることができる例も認められた。したがって、十分な資料が蓄積され、解析結果からそれ相応の理由付けないしは理論的根拠が得られるようになれば、増殖率と密度との関係を曲線関係として記載できる可能性もある。しかし、資料が十分でない現段階では、直線関係としてとらえた方が予察式としては安全であり、実用性も高いとみなされる。そこで、以下では相連続する世代の密度を対比し、両者の直線関係を調べ、当世代の密度から次世代の密度の予察ができないかを検討した。第6図から第9図は世代別に作図したものであり、第10図はこれらの図を一緒にまとめたものである。又、これらの関係を示す諸係数は第9表にまとめた。



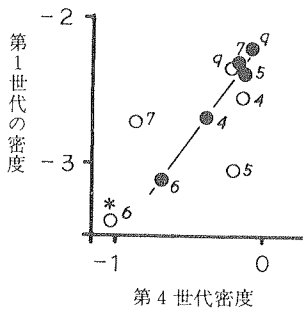
第6図 第1世代と第2世代の密度の関係
白丸：津軽地域，黒丸：南部地域
*；りんご試資料からの推定値，添字は年次



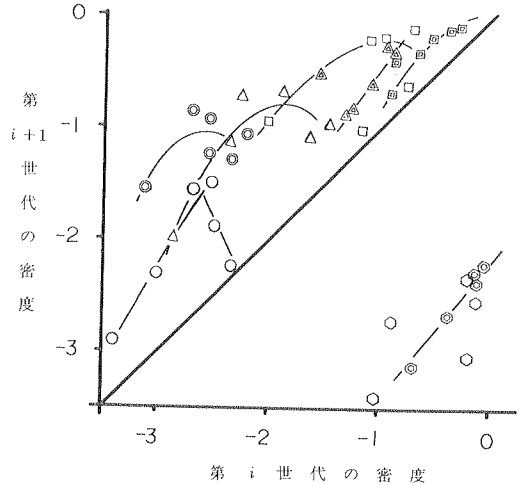
第7図 第2世代と第3世代の密度の関係



第8図 第3世代と第4世代の密度の関係



第9図 第4世代と第1世代の密度の関係



第10図 当世代と次世代の密度の関係
 いずれの記号も一重が津軽地域、二重が南部地域
 ○：1—2世代，△：2—3世代，□：3—4世代，◇：4—1世代

次に、これらの図と表をともにして、世代ごとに検討を試みた。なお、この方法は MORRIS (1959) 及び NEILSON and MORRIS (1964) がトウヒノシントメハマキ (*Choristoneura fumiferana*) とキバチの1種 (*Diprion hercyniae*) の個体群変動を解析するために用いた基本モデルである。彼らは前世代に対する当世代の密度の回帰式の勾配が1よりも大きい小さいかによって、密度依存性の検出も行ったが、統計学上問題もあるので (例えば, KUNO 1971, ITÔ 1972), 先の調節過程の検出の節ではこの方法を用いなかった。実は、第5図における密度に対する増殖率の関係でも同様の統計学上の問題が存在する。統計的な計算をせず、視覚によったのもそのためである。

1. 第2世代の予察

第2世代の密度 D_2 は津軽地域では

$$\log D_2 = -0.3908 + 0.8917 \log D_1 \quad (17)$$

あるいは

第9表 キンモンホソガの世代間関係

(i) 津軽地域

	第1世代 ：第2世代	第2世代 ：第3世代	第3世代 ：第4世代	第4世代 ：第1世代	第1世代 ～第4世代
r	0.6856	0.6655	0.7348	0.5838	0.8726
a	0.8917	0.6054	0.4849	0.5663	0.7995
b	-0.3908	0.1296	0.1127	-2.5202	0.3762

(ii) 南部地域

	第1世代 ：第2世代	第2世代 ：第3世代	第3世代 ：第4世代	第4世代 ：第1世代	第1世代 ～第4世代
r	0.4898	0.5438	0.9071	0.9929	0.9066
a	0.3616	0.5439	0.8473	1.4107	0.4558
b	-0.2587	0.0291	0.2114	-2.1255	-0.0404

注： r は相関係数， a は勾配， b は y 軸切点

$$D_2 = 0.4066 D_1^{0.8917} \quad (17')$$

で示され、南部地域では

$$\log D_2 = -0.2587 + 0.3698 \log D_1 \quad (18)$$

あるいは

$$D_2 = 0.5512 D_1^{0.3698} \quad (18')$$

によって示された。これらの式によって、第2世代密度

の全変動のうち、津軽地域では47%が、南部地域では24%が説明された。

津軽地域では第1世代の密度が対数で-2.5付近を中心に、それよりも低い密度では右上がり、それよりも高い密度では右下がりの回帰とみることのできるため、両者を分けて扱った方がよいかも知れない。しかし、資料数が少ない現段階ではむしろ予測の安全性を考慮して低い側の回帰を利用した方が実用的と考えられる。この場合4組の資料から求めた回帰式は

$$\log D_2 = 2.9109 + 1.7026 \log D_1 \quad (19)$$

あるいは

$$D_2 = 814.5645 D_1^{1.7026} \quad (19')$$

で示され、全体の変動の98.5%を説明することができた。キンモンホソガの産卵能力が70個位であることを考慮すると、この予察式は一見不合理のようにみえるが、第1世代の密度が $10^{-3} \sim 10^{-2}$ の水準であるので、個生数との偏りがあるとはいえない。

なお、以下での予察式でも問題となるが、ここでの「予測の安全性」とは将来生起する実現値を過小に予測するよりも過大に予測した方が、防除上安全であろうという考え方であり、実際的には、無用な過度の防除圧を課すことにもなりかねない面があることを指摘しておく。

2. 第3世代の予察

第3世代の密度 D_3 は津軽地域では

$$\log D_3 = 0.1296 + 0.6054 \log D_2 \quad (20)$$

あるいは

$$D_3 = 1.3477 D_2^{0.6054} \quad (20')$$

南部地域では

$$\log D_3 = 0.0291 + 0.5439 \log D_2 \quad (21)$$

あるいは

$$D_3 = 1.0693 D_2^{0.5439} \quad (21')$$

で表わされ、これらの式によって津軽地域では44%、南部地域では30%の変動が説明された。第8図で個々のプロットをみると津軽地域では対数値で-2の付近までは勾配が正、それ以上では負の勾配を示すとみることでもでき、ここでも予測の安全性を考慮すれば、低い側の回帰を利用した方がよいと考えられる。この場合、4組の資料から求めた回帰式は

$$\log D_3 = 2.0496 + 1.3773 \log D_2 \quad (22)$$

あるいは

$$D_3 = 112.0878 D_2^{1.3773} \quad (22')$$

として表わされ、全変動の87%が説明された。

南部地域では1977年の資料が全体の傾向からずれているので除外して計算すると

$$\log D_3 = 0.9509 + 1.4397 \log D_2 \quad (23)$$

あるいは

$$D_3 = 8.9304 D_2^{1.4397} \quad (23')$$

として表わされ、全変動の93%が説明された。

3. 4世代の予察

津軽地域ではりんご試資料から推定した1976年の資料を除くと、対数値で-1付近までは正、それ以上ではばらつく傾向がみられた。1976年の資料を除外して求めた回帰式は

$$\log D_4 = 0.1127 + 0.4849 \log D_3 \quad (24)$$

あるいは

$$D_4 = 1.2962 D_3^{0.4849} \quad (24')$$

であり、全変動の54%を説明できた。又、安全性を考慮して1979年の資料を除去すると

$$\log D_4 = 0.4204 + 0.6625 \log D_3 \quad (25)$$

あるいは

$$D_4 = 2.6325 D_3^{0.6625} \quad (25')$$

となり、全変動の96%を説明できた。

南部地域では

$$\log D_4 = 0.2114 + 0.8473 \log D_3 \quad (26)$$

あるいは

$$D_4 = 1.6270 D_3^{0.8473} \quad (26')$$

によって全変動の82%が説明された。

4. 第1世代の予察

津軽地域では個々のちらばりが大きく、回帰式によって全変動の34%が説明されるに過ぎないが

$$\log D_1 = -2.5202 + 0.5663 \log D_4 \quad (27)$$

あるいは

$$D_1 = 0.0030 D_4^{0.5663} \quad (27')$$

が得られた。

一方、南部地域では

$$\log D_1 = -2.1255 + 1.4107 \log D_4 \quad (28)$$

あるいは

$$D_1 = 0.0075 D_4^{1.4107} \quad (28')$$

によって、全変動の99%が説明された。

5. 全体の傾向

多少荒っぽい方法ではあるが、第1世代から第4世代をこみにした回帰式を求めると、津軽地域では

$$\log D_i = 0.3762 + 0.7995 \log D_{i-1} \quad (29)$$

あるいは

$$D_i = 2.3779 D_{i-1}^{0.7995} \quad (29')$$

が得られ、これによって全変動の76%が説明された。

一方、南部地域では

$$\log D_i = -0.0404 + 0.4558 \log D_{i-1} \quad (30)$$

あるいは

$$D_i = 0.9112 D_{i-1}^{0.4558} \quad (30')$$

が得られ、これによって全変動の82%が説明された。

6. 予察式利用上の問題点

前にも述べたように、ここに示された予察式は当世代の密度を知って次世代の密度を予測しようとするものであり、何世代か後の密度を推定するためには限界がある。以下でこの点について考察する。

各世代の発生量の予察式は形式的には

$$\left. \begin{aligned} n_2 - \bar{n}_2 &= a_1 (n_1 - \bar{n}_1) \\ n_3 - \bar{n}_3 &= a_2 (n_2 - \bar{n}_2) \\ n_4 - \bar{n}_4 &= a_3 (n_3 - \bar{n}_3) \\ n_1 - \bar{n}_1 &= a_4 (n_4 - \bar{n}_4) \end{aligned} \right\} \text{①}$$

と表わされる。ここで、 n_i ($i=1, 2, 3, 4$) は i 世代の密度、 \bar{n}_i は i 世代の平均密度、 a_i は予察式の見込係数である。

第1世代の n_1 の初期値として θ を与えると、第1年目の第4世代の密度 $n_{4,1}$ は

$$n_{4,1} = a_1 a_2 a_3 (\theta - \bar{n}_1) + \bar{n}_4,$$

第 j 年後の第4世代の密度 $n_{4,j}$ は

$$n_{4,j} = a_1^j a_2^j a_3^j a_4^{j-1} (\theta - \bar{n}_1) + \bar{n}_4 \quad \text{②}$$

となる。従って、第 $j+1$ 年後と第 j 年後の第4世代の密度差 $\Delta J_{j+1, j}$ は

$$\begin{aligned} \Delta J_{j+1, j} &= a_1^{j-1} a_2^{j-1} a_3^{j-1} a_4^{j-1} (a_1 a_2 a_3) \\ &\quad \times (a_1 a_2 a_3 a_4 - 1) (\theta - \bar{n}_1) \quad \text{③} \end{aligned}$$

となる。

$\Delta J_{j+1, j}$ と見込係数との関係は

- 1) $a_1 a_2 a_3 a_4 < -1$ で振動を繰り返して発散
- 2) $-1 < a_1 a_2 a_3 a_4 < 0$ で振動を繰り返して収束
- 3) $0 \leq a_1 a_2 a_3 a_4 < 1$ で単調に0に収束
- 4) $a_1 a_2 a_3 a_4 > 1$ で単調発散。

先に示したように、実際に得られた予察式の見込係数は津軽地域では

$$\begin{aligned} a_1 &= 0.5663, a_2 = 0.8917 (a_2' = 1.7026), a_3 = 0.6054 \\ (a_3' &= 1.3773), a_4 = 0.4849 (a_4' = 0.6625) \end{aligned}$$

南部地域では

$$\begin{aligned} a_1 &= 1.4107, a_2 = 0.3698, a_3 = 0.5439 (a_3' = 1.4397), \\ a_4 &= 0.8473 \end{aligned}$$

であった。ここで () 内は予測の安全性を考慮した場合の見込係数である。各世代の予察式のうち大きい値を示した見込係数を用いても、両地域とも $a_1 a_2 a_3 a_4 < 1$ が得られ、数年後には $\Delta J_{j+1, j} = 0$ となる。すなわち、年次変動がまったくない系が導かれる。したがって、ここに示した予察式を用いて何世代か後の予察をすることはできない。

又、この予察式はもともと過去の現象を説明したものであるため、未来に起こるまったく新しい現象は十分に説明しえない。これは統計的な予察式では常につきまとう問題であり、予察式の利用に当たって最も注意すべき点である。これについては、後章で具体的に言及する。

Ⅶ 発生量の予察 — 空間的な側面 —

第Ⅳ章では発生量を経時的な側面から解析し、それを基にして第Ⅴ章で経時的な発生量の予察を試みた。この章では個々の地点及び近接する地点同志を群としてとらえ、空間的な側面から世代間関係を検討する。地域全体としてとらえた場合には推定平均密度が0となる場合がなかったが、個々の園あるいは群としてとらえた場合には、次章でも詳述するように、推定密度が0となる場合がしばしば生じた。これは特に第1世代、第2世代が多かった。そこで、ここでは推定した平均密度に何らの変換も施さずに、1977年から1979年の資料について次のような検討を行った。

(1) 個々の地点 (j) における第 i 世代の密度 $d_{i,j}$ と $d_{i+1,j}$ との関係、(2) 津軽地域では10万分の1の地図上に巡回調査地点を打点し、ある程度地形(主として河川の流域)を考慮していくつかの点の集まりの中心部に半径2cm(実距離: 2km)の円を描き、その範囲に入った地点を1つの近接した群とみなし、そこにおける $d_{i,j}$ と $d_{i+1,j}$ との関係; 南部地域ではこの方法がとれなかったため、やや主観的となるが、行政区を主体とした7つの群に分けて $d_{i,j}$ と $d_{i+1,j}$ の関係;(3), (2)の

分析において1群の地点数が4点以上あった津軽地域の8群、南部地域の3群について、群内地点間の世代間関係; 以上3つについて相関係数を求め、(1)と(2)は第10表に、(3)は相関係数の頻度分布として第11表に示した。

第10表によると全地点から求めた相関係数と群によって求めた相関係数の値は近似し、津軽地域では第1世代と第2世代の関係は低い、第2世代と第3世代、第3世代と第4世代、第4世代と第1世代の間では正の相関を示した。一方、南部地域では第1世代と第2代、第4世代と第1世代の相関係数は低い、第2世代と第3世代、第3世代と第4世代の間では正の相関を示した。

次に、群内の相関係数をみると、津軽地域では相関係数 r が第1世代と第2世代の間では18群中10群で $-0.5 < r \leq 0$ であったが、第2世代と第3世代の間では $0.5 < r < 1.0$ に入るものが14群中8群、第3世代と第4世代の関係では22群中15群、第4世代と第1世代の関係では24群中13群であった。一方、南部地域では第1世代と第2世代、第4世代と第1世代の関係では $-0.5 < r \leq 0$ の範囲に入る事例が一番多く、前者では8群中、後者で

第10表 地点別の発生量の世代間関係といくつかの近接する地点の群における発生量の世代関係 (r)
(i) 津軽地域

年次	第1世代：第2世代		第2世代：第3世代		第3世代：第4世代		第4世代：第1世代	
	地点別	群別	地点別	群別	地点別	群別	地点別	群別
1977	0.088	-0.231	0.294	0.694	0.256	0.589	0.567	0.519
1978	0.413	0.321	0.338	0.212	0.429	0.478	0.378	0.793
1979	0.162	0.255	0.567	0.383	0.571	0.567		
平均	0.226	0.119	0.407	0.455	0.427	0.546	0.478	0.679

(ii) 南部地域

1977	-0.104	-0.292	0.622	0.565	0.501	0.581	0.033	0.083
1978	0.313	0.162	0.644	0.668	0.440	0.618	0.226	-0.332
1979	-0.048	-0.265	0.771	0.954	0.494	0.493		
平均	0.053	0.0447	0.690	0.661	0.479	0.547	0.143	-0.174

注) 相関係数の平均は z 変換して求めた。

は9群中いずれも3群であった。第2世代と第3世代、第3世代と第4世代では $0.5 < r \leq 1.0$ に入る頻度が多く、いずれも9群中5群がこの範囲に含まれた。

ここで3つの方法で検討した結果は相互に矛盾せず、第2世代から第4世代にかけては、ある世代の密度が平均よりも高いところあるいはその近辺では次世代の密度も平均よりも高くなる傾向が強いといえる。

ここで取り扱った問題は応用的な防除の立場からは最も重要な事柄である。これにはキンモンホソガの個体群動態を解明する上で最も重要な成虫の移動分散が強く関与していると考えられ、興味ある問題であるが、これ以上の解析はできなかつ

第11表 群内の世代間関係(相関係数の頻度)

(i) 津軽地域

相関係数 (r)	第1世代： 第2世代	第2世代： 第3世代	第3世代： 第4世代	第4世代： 第1世代
$-1.0 \leq r \leq -0.5$	0	0	3	2
$-0.5 < r \leq 0$	10	4	1	3
$0.0 < r \leq 0.5$	2	2	3	6
$0.5 < r \leq 1.0$	6	8	10	13

(ii) 南部地域

相関係数 (r)	第1世代： 第2世代	第2世代： 第3世代	第3世代： 第4世代	第4世代： 第1世代
$-1.0 \leq r \leq -0.5$	1	1	0	2
$-0.5 < r \leq 0$	3	1	0	3
$0.0 < r \leq 0.5$	2	2	4	2
$0.5 < r \leq 1.0$	2	5	5	2

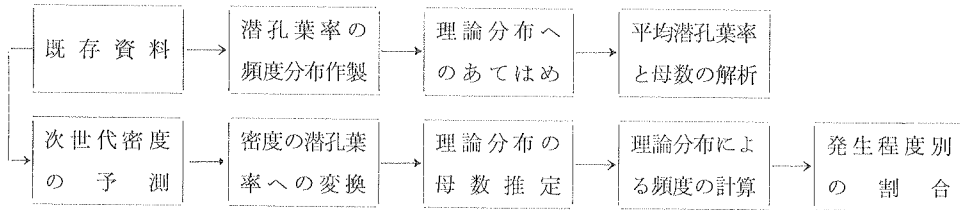
た。今後、この面での解析を進めて行く場合、いくつかの観測地点における気象現象の多変量解析例(例えば、鈴木1968)が有益な示唆を与えるであろう。

Ⅷ 潜孔葉率の園間分布

この章では津軽地域病害虫防除所の資料を用いて、潜孔葉率の園間分布の様相を解析する。ここでの主たる目的は第Ⅵ章で述べた予察式によってある世代の地域平均密度を予測した場合に、程度別の発生園地割合の推定も可能かどうかを検討することであり、基本的な考え方は次のとおりである。

最初に既存資料を用いて、潜孔葉率の頻度分布を作製

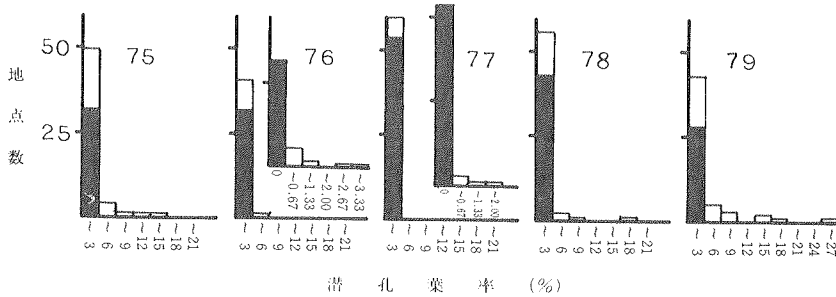
し、これの理論的な分布型への当てはめ及び平均潜孔葉率と理論分布の母数の関係を調べる。もしも、分布型への当てはめが可能であり、しかも、平均潜孔葉率と母数の間に規則的な関係が認められたなら、予察式によって予測した平均密度を平均潜孔葉率に変換し、これを用いて理論分布の母数を推定し、頻度分布を作製する。以上を模式化すると次のようになる。



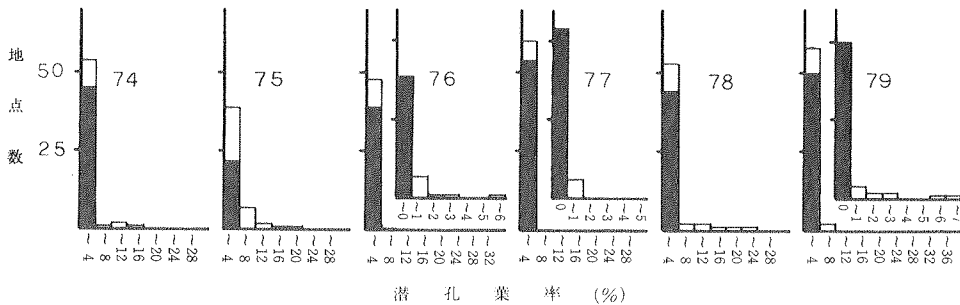
1. 潜孔葉率の園間分布

第IV章2節で発生量の数値的表示方法を検討した際の

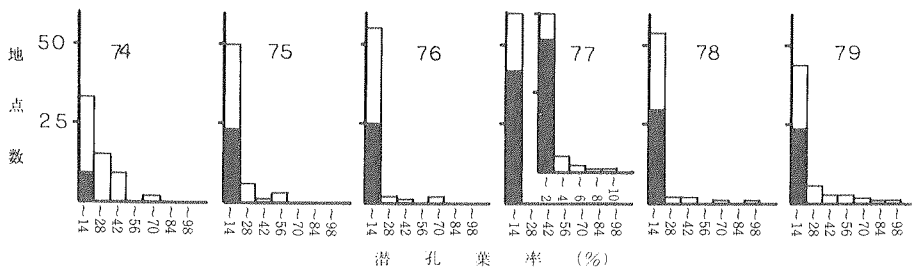
値を用いて、各年次各世代の頻度分布図を作製し、第11図から第14図に示した。



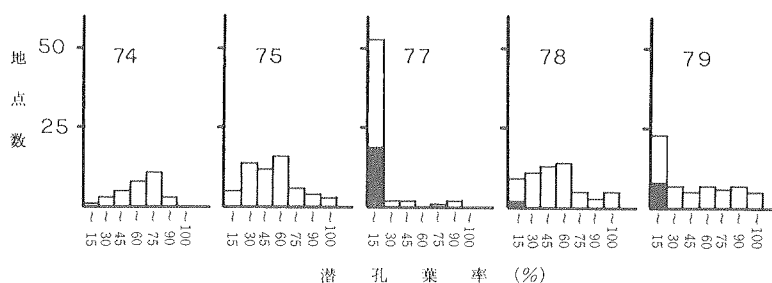
第11図 キンモンホソガ第1世代における潜孔葉率の度数分布



第12図 キンモンホソガ第2世代における潜孔葉率の度数分布



第13図 キンモンホソガ第3世代における潜孔葉率の度数分布



第14図 キンモンホソガ第4世代における潜孔葉率の度数分布

ここで、階級数 n は STURGES (石川1955) の方法によって、 $n = 1 + \log N / \log 2$ (N は標本数) とし、各世代でこれまでの6年間に経験した最高潜孔葉率を n で割って階級幅とした。なお、発生が特に少ない例ではさらに小さな階級幅をとって、図中に挿入した。図中の最小階級の頻度のうち、黒く塗りつぶした部分は潜孔葉率0の頻度を示す。

第4世代の発生が多かった1974年、1975年、1978年を除けば、すべて左右が非対称で0の近くに大きく偏った頻度分布となっていた。STEINER (1971) は経時的にとらえた害虫の発生量の頻度分布図を作製すると、ここに示したような0の近くに偏った分布が得られるであろうと主張し、害虫の発生量は多くの場合経済的許容水準よりも低いと述べている。空間的にとらえたこれらの図からも同様の指摘が可能であり、かなりの部分に相当する圃地あるいは地点においてキンモンホソガの防除を省略しうる可能性のあることが示される。

ここで得られたような頻度分布を理論的にどのような分布型で近似すべきであるかは明確ではないが、実用的な立場からは母数の数が少ないこととできるだけ簡単に母数を推定できるものが望ましい。そこで、ここに取り扱っている変数(潜孔葉率)は連続量で0から1までの範囲しか取り得ないことを考慮して、ベータ分布への当てはめを検討した。ベータ分布は平均値と分散から必要な母数を推定できるので、これまでの資料の検討によって、もしも平均値と分散との間に何らかの関係が得られるならば、予察式によって得られた平均を用いて分散を推定し、必要な母数も得られるであろうと考えたからである。

ベータ分布では変数 x に対する確率密度が次式で与えられる。

$$f(x) dx = \begin{cases} x^{a-1}(1-x)^{b-1} dx / \beta(a, b), & 0 \leq x \leq 1 \\ 0 & x < 0, x > 1 \end{cases} \quad (31)$$

但し、 $a > 0, b > 0,$

$$\beta(a, b) = \Gamma(a) \cdot \Gamma(b) / \Gamma(a+b) \text{ であり、} \\ \Gamma(a) = (a-1)(a-2) \cdots = (a-1)! .$$

平均と分散を a, b で表わせば

$$\left. \begin{aligned} \text{母平均} &= a / (a+b) \\ \text{母分散} &= ab / (a+b+1) (a+b)^2 \end{aligned} \right\} \quad (32)$$

となるので、モーメント法による母数 a, b の推定値 \hat{a}, \hat{b} は

$$\hat{a} = \frac{\hat{m} (\hat{m} - \hat{m}^2 - \hat{\sigma}^2)}{\hat{\sigma}^2} \quad (33)$$

$$\hat{b} = \frac{(1 - \hat{m}) (\hat{m} - \hat{m}^2 - \hat{\sigma}^2)}{\hat{\sigma}^2} \quad (34)$$

で与えられる (KENDAL *et al.*, 1976)、但し、 $\hat{m}, \hat{\sigma}^2$ は母平均と母分散の推定値である。

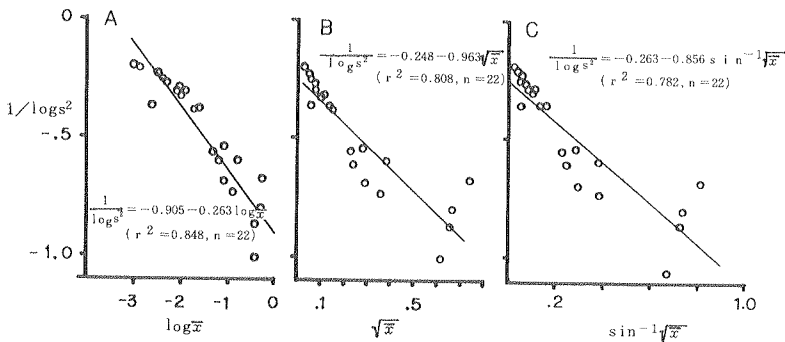
ベータ分布の形状の特徴としては、 $a > 1, b > 1$ のとき $x = (a-1) / (a+b-2)$ で固有のモードを有し、 $x = 0$ と $x = 1$ で0 ; $a = 1$ 又は $b = 1$ のときそれに対応する極値は a 又は b ; $a = b = 1$ のとき一様分布 ; $0 < a < 1$ 又は $0 < b < 1$ のときそれに対応する極値は無限大 ; $0 < a, b \leq 1$ でU字型の分布 ; $0 < a \leq 1 < b$ で逆J字型、 $0 < b \leq 1 < a$ でJ字型の分布が得られる (KENDAL *et al.* 1976)。

2. 平均と分散の関係

理論分布への当てはめを検討する前に、平均と分散との関係を検討する。これらの間に規則性が認められないと、ベータ分布への適合が良くてもここでの主要な目的からは外れ、単なる分布の記載に終るが、もしも、規則性が認められれば、適合の程度があまり良くなくても実用に耐え得る場合があると考えたからである。

これまでの資料によると標本分散 s^2 は 10^{-6} から 10^{-1} の桁であり、第1世代と第2世代が $10^{-6} \sim 10^{-3}$ 、第3世代が $10^{-4} \sim 10^{-3}$ 、第4世代が $10^{-2} \sim 10^{-1}$ であった。これをそのままの値で図上に点を打つことはできないので、対数変換し、平均潜孔葉率 \bar{x} の対数、平方根及び $\sin^{-1} \sqrt{\bar{x}}$ の変換値との関係を検討した。その結果、いずれの場合も飽和型の曲線関係が得られ、 $\log s^2$ の逆数を取ることによって有意な直線関係が得られた (第15図)。

22組の資料から得られた回帰式はそれぞれ、



第15図 平均潜孔葉率 (\bar{x}) と分散 (s^2) の関係

$$\frac{1}{\log s^2} = -0.905 - 0.263 \log \bar{x} \quad (35)$$

$(r^2 = 0.848)$

$$\frac{1}{\log s^2} = -0.248 - 0.963 \sqrt{\bar{x}} \quad (36)$$

$(r^2 = 0.808)$

$$\frac{1}{\log s^2} = -0.262 - 0.856 \sin^{-1} \sqrt{\bar{x}} \quad (37)$$

$(r^2 = 0.782)$

つであった。結局、第1世代から第4世代までの22例中、 X^2 検定をできたのは12例であった。そのうち、ベータ分布則に従うとの帰無仮説を積極的に棄却することができたのは4例のみであり、一応よく適合すると判断できる。また、 X^2 検定できない場合でも、観測値と理論値

第12表 平均潜孔葉率と分散から求めたベータ分布の母数の推定値

世代	年次	平均潜孔葉率 (%)	分散	\hat{a}	\hat{b}
1 世代	1974	—	—	—	—
	1975	0.0131	0.7074×10^{-3}	0.2264	17.0543
	1976	0.0030	0.5020×10^{-4}	0.1780	58.7799
	1977	0.0010	0.1180×10^{-4}	0.0839	83.7124
	1978	0.0077	0.5345×10^{-3}	0.1015	13.1321
	1979	0.0236	0.2332×10^{-2}	0.2099	8.6787
2 世代	1974	0.0107	0.8719×10^{-3}	0.1187	10.9972
	1975	0.0027	0.1824×10^{-1}	0.3627	13.0719
	1976	0.0037	0.1028×10^{-3}	0.1271	34.4751
	1977	0.0012	0.1380×10^{-4}	0.0973	83.3403
	1978	0.0185	0.2091×10^{-1}	0.1422	7.5420
	1979	0.0045	0.1743×10^{-3}	0.1112	24.5902
3 世代	1974	0.1468	0.2184×10^{-1}	0.6950	4.0402
	1975	0.0762	0.1467×10^{-1}	0.2891	3.5069
	1976	0.0522	0.1641×10^{-1}	0.1050	1.9074
	1977	0.0078	0.3757×10^{-3}	0.1542	19.5323
	1978	0.0595	0.2424×10^{-1}	0.0778	1.2305
	1979	0.1300	0.4449×10^{-1}	0.2005	1.3416
4 世代	1974	0.5381	0.3365×10^{-1}	3.4365	2.9498
	1975	0.4522	0.5608×10^{-1}	1.5452	1.8721
	1976	—	—	—	—
	1977	0.0848	0.3605×10^{-1}	0.0978	1.0556
	1978	0.4385	0.7231×10^{-1}	1.0546	1.3504
	1979	0.3882	0.1178	0.3942	0.6214

であった。

これらの経験式を用いて、予察式によって推定された \bar{x} から一応 s^2 を推定することができるものとみなされる。

なお、このような回帰式が成立することには次のような背景があることを示している。すなわち、例えば100地点中潜孔葉率10%が20地点で他は0%の場合と潜孔葉率100%が2地点で他は0%の場合、両者の平均は同じであるが、このような極端なケースはめったに生起せず、近似した平均のもとでは空間的な分布も近似する。

3. ベータ分布への当てはめ

標本平均と分散から(35)及び(34)式によって求めた a, b の値は第12表の通りであった。

これらの値を用いて理論的な頻度分布を求め、第13表から第16表に観測された頻度分布と共に並記した。

ベータ分布への適合性を検討するために X^2 検定を常法によって試みたが、第1世代と第2世代では多くの場合自由度が不足し、検定できたのは1例ず

第13表 第1世代キンモンホソガの空間分布のベータ分布への当てはめ

潜孔葉率 p	1975		1976		1977		1978		1979	
	観測値	理論値	観測値	理論値	観測値	理論値	観測値	理論値	観測値	理論値
$0 \leq p \leq 0.025$	46	45.2	40	40.4	60	59.3	56	49.3	46	41.6
$0.025 \leq p \leq 0.050$	6	6.2	2	1.4		0.7	2	5.3	5	7.1
$0.050 \leq p \leq 0.075$	3	2.7		0.2		0	1	2.4	3	3.8
$0.075 \leq p \leq 0.100$	0	1.4		0			0	1.2	2	2.3
$0.100 \leq p \leq 0.125$	1	0.7					0	0.7	0	1.6
$0.125 \leq p \leq 0.150$	1	0.3					0	0.5	2	1
$0.150 \leq p \leq 0.175$	0	0.2					1	0.2	0	0.8
$0.175 \leq p \leq 0.200$	0	0.2						0.2	1	0.5
$0.200 \leq p \leq 0.225$		0						0.1	0	0.4
$0.225 \leq p \leq 0.250$		0.1						0	0	0.3
$0.250 \leq p \leq 0.275$		0						0.1	1	0.1
$0.275 \leq p \leq 0.300$		0						0		0.2
$0.300 \leq p \leq 0.325$										0.1
$0.325 \leq p \leq 0.350$										0
$0.350 \leq p \leq 0.375$										0.1
$0.375 \leq p \leq 0.400$										0
$0.400 \leq p \leq 0.425$										0.1
$0.425 \leq p \leq 0.450$										0
自由度 χ^2 確率 (pr)	— 0.0849		—		—		— 5.1060		1 1.5618 0.1 < pr < 0.25	

第14表 第2世代キンモンホソガの空間分布のベータ分布への当てはめ

潜孔葉率 p	1974		1975		1976		1976		1978		1979	
	観測値	理論値	観測値	理論値	観測値	理論値	観測値	理論値	観測値	理論値	観測値	理論値
$0 \leq p \leq 0.025$	52	46.6	35	33	47	45.3	60	59.2	49	43.3	56	53.6
$0.025 \leq p \leq 0.050$	3	5.6	4	4.4	1	2.7	0.2	4	6.3	2	4.1	
$0.050 \leq p \leq 0.075$	0	2.7	4	3.8	1	0.7	0.6	2	3.4	2	1.4	
$0.075 \leq p \leq 0.100$	2	1.5	4	2.2		0.2	0	1	2.1		0.5	
$0.100 \leq p \leq 0.125$	1	1	1	1.3		0.1		1	1.4		0.2	
$0.125 \leq p \leq 0.150$	0	0.5	1	0.9		0		1	0.9		0.1	
$0.150 \leq p \leq 0.175$	1	0.4	0	0.5				0	0.7		0.1	
$0.175 \leq p \leq 0.200$		0.2	1	0.3				1	0.5		0	
$0.200 \leq p \leq 0.225$		0.2		0.3				0	0.4			
$0.225 \leq p \leq 0.250$		0.1		0.1				1	0.3			
$0.250 \leq p \leq 0.275$		0.1		0.1					0.2			
$0.275 \leq p \leq 0.300$		0		0					0.1			
$0.300 \leq p \leq 0.325$		0.1		0.1					0.1			
$0.325 \leq p \leq 0.350$		0		0					0.1			
$0.350 \leq p \leq 0.375$									0.1			
$0.375 \leq p \leq 0.400$									0			
$0.400 \leq p \leq 0.425$									0			
$0.425 \leq p \leq 0.450$									0.1			
$0.450 \leq p \leq 0.475$									0			
自由度 χ^2 確率 (pr)	— 2.9858		— 1.2838		—		—		1 4.0121 0.025 < pr < 0.05		— 0.0075	

第15表 第3世代キンモンホソガの空間分布のベータ分布への当てはめ

潜孔葉率 p	1974		1975		1976		1977		1978		1979	
	観測値	理論値	観測値	理論値	観測値	理論値	観測値	理論値	観測値	理論値	観測値	理論値
$0 \leq p \leq 0.025$	14	12.3	30	28.8	39	34.7	54	50.9	39	33.4	31	25.8
$0.025 \leq p \leq 0.050$	8	7.2	7	7.1	8	5.4	3	5.3	7	4.9	6	5.4
$0.050 \leq p \leq 0.075$	3	5.6	3	4.5	6	3.2	2	2	4	2.9	3	3.5
$0.075 \leq p \leq 0.100$	4	4.6	4	3.4	1	2.4	1	0.3	3	2.1	1	2.6
$0.100 \leq p \leq 0.125$	2	4	4	2.6	0	1.8	0	0.5	0	1.7	2	2.2
$0.125 \leq p \leq 0.150$	2	3.4	2	2.1	1	1.4	0.2	0.5	1	1.4	1	1.8
$0.150 \leq p \leq 0.175$	7	2.9	2	1.7	1	1.3	0.1	0.1	1	1.2	1	1.5
$0.175 \leq p \leq 0.200$	3	2.6	2	1.5	0	1	0	0	1	1	1	1.4
$0.200 \leq p \leq 0.225$	0	2.3	0	1.2	0	1	0.1	0.1	0	0.9	0	1.2
$0.225 \leq p \leq 0.250$	2	2	1	1	1	0.8	0	0	0	0.8	1	1.1
$0.250 \leq p \leq 0.275$	2	2.7	1	0.9	0	0.7	0	0	0	0.7	2	1
$0.275 \leq p \leq 0.300$	2	1.5	0	0.8	0	0.6	0	0	0	0.7	1	0.9
$0.300 \leq p \leq 0.325$	2	1.3	0	0.7	0	0.6	2	0.5	2	0.5	1	0.9
$0.325 \leq p \leq 0.350$	3	1.2	0	0.5	0	0.5	0	0.6	0	0.6	0	0.8
$0.350 \leq p \leq 0.375$	0	1	1	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	1	0.7
$0.375 \leq p \leq 0.400$	2	0.9	0	0.5	0	0.4	0	0.5	0	0.5	0	0.7
$0.400 \leq p \leq 0.425$	1	0.8	0	0.3	1	0.4	0	0.5	0	0.5	1	0.7
$0.425 \leq p \leq 0.450$	0	0.6	1	0.3	0	0.3	0	0.4	0	0.4	2	0.6
$0.450 \leq p \leq 0.475$	0	0.6	1	0.3	0	0.4	0	0.4	0	0.4	0	0.6
$0.475 \leq p \leq 0.500$	0	0.4	0	0.2	0	0.3	0	0.4	0	0.4	0	0.5
$0.500 \leq p \leq 0.525$	0	0.4	0	0.2	0	0.2	0	0.3	0	0.3	0	0.5
$0.525 \leq p \leq 0.550$	0	0.4	1	0.2	0	0.3	0	0.4	0	0.4	0	0.5
$0.550 \leq p \leq 0.575$	0	0.3	0	0.1	0	0.2	0	0.3	0	0.3	1	0.5
$0.575 \leq p \leq 0.600$	1	0.2	0	0.2	0	0.2	0	0.3	0	0.3	1	0.4
$0.600 \leq p \leq 0.625$	1	0.2	0	0.1	1	0.2	0	0.3	0	0.3	0	0.4
$0.625 \leq p \leq 0.650$	0	0.1	0	0	0	0.2	0	0.3	0	0.3	1	0.4
$0.650 \leq p \leq 0.675$	0.2	0.1	0.1	0.1	1	0.1	0	0.2	0	0.2	0	0.4
$0.675 \leq p \leq 0.700$	0.1	0.1	0.1	0.1	1	0.2	0	0.3	0	0.3	0	0.3
$0.700 \leq p \leq 0.725$	0	0	0	0	0	0.1	1	0.2	0	0.2	0	0.4
$0.725 \leq p \leq 0.750$	0.1	0	0	0	0	0.1	0	0.2	0	0.2	0	0.3
$0.750 \leq p \leq 0.775$	0	0	0	0	0	0.1	0	0.3	0	0.3	0	0.3
$0.775 \leq p \leq 0.800$	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0.1	0	0.2	0	0.2	0	0.2
$0.800 \leq p \leq 0.825$	0	0	0	0	0	0.1	0	0.1	0	0.1	1	0.3
$0.825 \leq p \leq 0.850$					0		0	0.1	0	0.1	0	0.2
$0.850 \leq p \leq 0.875$					0	0.1	0	0.2	0	0.2	0	0.3
$0.875 \leq p \leq 0.900$					0	0	0	0.1	0	0.1	1	0.2
$0.900 \leq p \leq 0.925$					0	0.1	0	0.2	0	0.2	0	0.1
$0.925 \leq p \leq 0.950$					0	0	1	0.1	0	0.1	0	0.2
$0.950 \leq p \leq 0.975$							0	0.1	0	0.1	0	0.1
$0.975 \leq p \leq 1.000$								0.1	0	0.1	0	0.1

自由度	5	2	2	—	3	4
χ^2	8.6871	1.0076	9.1418	0.9241	8.1441	2.8219
確率 (pr)	$0.1 < pr < 0.25$	$0.5 < pr < 0.75$	$0.01 < pr < 0.025$		$0.025 < pr < 0.05$	$0.5 < pr < 0.75$

第16表 第4世代キンモンホソガの空間分布のベータ分布への当てはめ

潜孔葉率 p	1974		1975		1977		1978		1979	
	観測値	理論値	観測値	理論値	観測値	理論値	観測値	理論値	観測値	理論値
$0 \leq p < 0.025$	0	0	0	0.5	34	30.9	3	1.7	9	10.1
$0.025 \leq p < 0.050$	0	0	0	0.9	8	4.8	1	1.8	6	3.5
$0.050 \leq p < 0.075$	0	0	0	1.1	6	3	3	1.8	3	2.5
$0.075 \leq p < 0.100$	0	0.1	2	1.4	1	2.2	0	1.8	1	2.1
$0.100 \leq p < 0.125$	1	0.1	1	1.4	3	1.7	1	1.8	1	1.9
$0.125 \leq p < 0.150$	0	0.2	2	1.6	0	1.4	0	1.9	1	1.6
$0.150 \leq p < 0.175$	2	0.3	3	1.7	1	1.3	3	1.8	3	1.5
$0.175 \leq p < 0.200$	0	0.3	3	1.8	1	1	0	1.8	0	0.6
$0.200 \leq p < 0.225$	0	0.5	2	1.9	1	1	3	1.9	1	1.3
$0.225 \leq p < 0.250$	0	0.5	1	2	0	0.9	3	1.8	2	1.2
$0.250 \leq p < 0.275$	0	0.7	3	2	0	0.8	2	1.8	1	1.2
$0.275 \leq p < 0.300$	1	0.7	2	2	0	0.7	1	1.8	2	1.1
$0.300 \leq p < 0.325$	0	0.9	2	2.1	0	0.7	0	1.8	1	1.1
$0.325 \leq p < 0.350$	0	1	1	2.1	0	0.6	2	1.7	0	1
$0.350 \leq p < 0.375$	0	1.1	3	2.1	0	0.6	4	1.8	1	1
$0.375 \leq p < 0.400$	2	1.1	2	2.1	0	0.5	2	1.7	3	1
$0.400 \leq p < 0.425$	2	1.3	2	2.1	1	0.6	0	1.7	0	1
$0.425 \leq p < 0.450$	0	1.3	2	2	1	0.4	5	1.7	0	1
$0.450 \leq p < 0.475$	2	1.4	1	2.1	0	0.5	0	1.6	1	0.9
$0.475 \leq p < 0.500$	2	1.5	2	2.1	0	0.4	4	1.7	2	0.9
$0.500 \leq p < 0.525$	1	1.5	5	2	0	0.4	2	1.6	0	0.9
$0.525 \leq p < 0.550$	0	1.5	4	1.9	0	0.4	3	1.6	3	0.9
$0.550 \leq p < 0.575$	0	1.5	2	1.9	0	0.4	3	1.6	0	0.9
$0.575 \leq p < 0.600$	3	1.5	1	1.9	0	0.3	2	1.5	1	0.9
$0.600 \leq p < 0.625$	4	1.4	0	1.8	0	0.4	1	1.5	0	0.9
$0.625 \leq p < 0.650$	2	1.5	0	1.7	0	0.3	2	1.5	0	0.9
$0.650 \leq p < 0.675$	0	1.3	0	1.7	1	0.4	0	1.4	2	0.9
$0.675 \leq p < 0.700$	0	1.3	2	1.6	0	0.3	1	1.4	1	0.9
$0.700 \leq p < 0.725$	4	1.2	2	1.5	0	0.3	1	1.4	1	0.9
$0.725 \leq p < 0.750$	1	1.1	2	1.4	0	0.3	0	1.3	2	1
$0.750 \leq p < 0.775$	1	0.9	0	1.3	0	0.3	0	1.3	0	0.9
$0.775 \leq p < 0.800$	0	0.9	0	1.3	0	0.2	0	1.3	1	1
$0.800 \leq p < 0.825$	2	0.7	2	1.1	0	0.3	2	1.2	1	1
$0.825 \leq p < 0.850$	0	0.5	0	1	0	0.3	0	1.1	1	1
$0.850 \leq p < 0.875$		0.5	1	0.9	1	0.2	0	1.1	2	1.1
$0.875 \leq p < 0.900$		0.1	1	0.7	1	0.3	1	1	2	1.1
$0.900 \leq p < 0.925$		0.4	1	0.1	0	0.2	0	0.9	1	1.3
$0.925 \leq p < 0.950$		0.1	1	0.1		0.2	1	0.8	0	1.3
$0.950 \leq p < 0.975$		0.1	0	0.3		0.2	1	0.7	1	1.7
$0.975 \leq p < 1.000$		0	1	0.1		0.2	3	0.4	3	3.2
自由度	3		6		3		7		7	
λ^2	0.8693		8.2865		9.5861		9.6531		4.4312	
確率 (pr)	$0.75 < pr < 0.9$		$0.1 < pr < 0.25$		$0.01 < pr < 0.025$		$0.1 < pr < 0.25$		$0.5 < pr < 0.75$	

はかなり近似しており、実用的には程度別の発生園地割合の推定も可能とみなされる。

本章2節で s^2 と \bar{x} との関係からベータ分布の当てはめに必要な母数を一応推定できることが明らかとなったが、もっと容易な方法はないであろうか。図9あるいは図10式から明らかなように、平均が一定のもとで母数 a , b のうちいずれかが定まれば他方も定まる。そこで、平均 \bar{x} に対してこれら2つの統計量を図示し、一定の関係が認められるかどうかを検討した(第16図)。

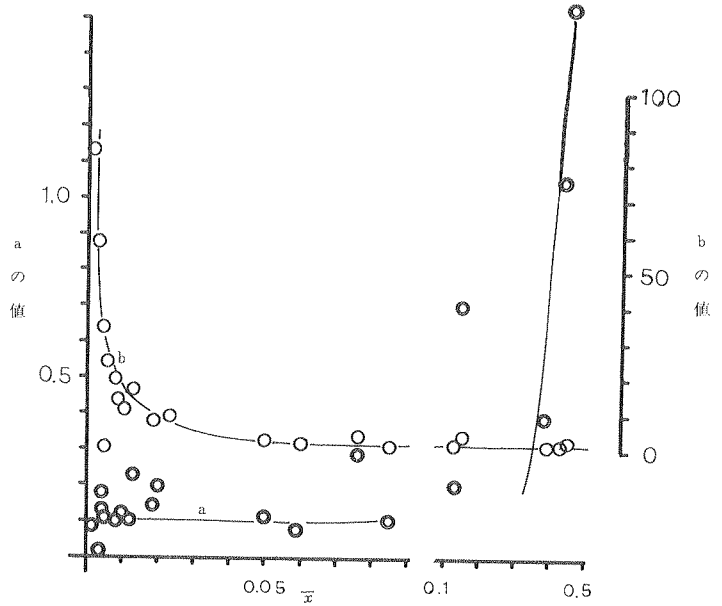
その結果 a は $\bar{x} \leq 0.1$ までの範囲では比較的安定した値をとるが、それ以上では \bar{x} の増加に伴って増大し、全体としては J 字型となった。一方、 b の値は逆 J 字型となり、 $\bar{x} = 0.05$ 以上ではほぼ一定値を示した。全体的な傾向からみて、これらの関係を経験的に双曲線で回帰できると考えられた。この場合 a よりも b の値の幅が大きいので、回帰式の適合が良いと期待される。そこで \bar{x} に対する b の値を双曲線で回帰させたところ、潜孔葉率が20%以下では

$$\hat{b} = 0.137 / \bar{x} \tag{35}$$

と1つの式で表わすことができた。しかし、40%以上では傾向線からの外れが大きき、40%以上では

$$\hat{b} = 9.110 - 3.221 / \bar{x} \tag{36}$$

で表わすことができた。これらの経験式を用いて a と \bar{x} との関係を求めると、潜孔葉率が20%以下では



第16図 平均潜孔葉率 (\bar{x}) とベータ分布の2つの母数 (a , b) の関係

$$\hat{a} = 0.137 / (1 - \bar{x}) \tag{37}$$

40%以上では

$$\hat{a} = (9.110 \bar{x} - 3.221) / (1 - \bar{x}) \tag{38}$$

が得られた。

潜孔葉率が高い場合の観察例が十分でないので問題もあるが、これまでに経験した範囲内での潜孔葉率ならば、ここに示した方法によって、本稿の主要な目的は達成しようと考えられる。

IX 予察式による予測値と実測値の比較

第V章でキンモンホソガの経時変動の特徴を考察し、これに基づいて第VI章では経時的な発生量の予察式を各世代について算出した。同時に、ここに示した予察式を決定論的な個体群変動モデルとしてとらえた場合に必然的に生じる問題点を指摘した。又、第VII章と第VIII章では空間的な測面について解析を行い、園間分布の状況を予測しようとした。

この章では、これまでの各章に示した予察式を利用し、その予測値をこれらの予察式を得るために利用した資料とはまったく独立な1980年の資料から得られた値と比較し、その有効性と限界について言及する。

1. 発生量の予測値と実測値との比較

1980年の防除所資料による各世代の平均潜孔葉率を(8), (9)及び(10)式によって平均潜孔密度に変換した。こうして求めた当該世代の平均潜孔密度 D_i を実測値として取り扱い、前世代の潜孔密度 D_{i-1} と第V章に示した予察式によって予測された平均潜孔密度 \hat{D}_i (予測値) とを対比し、第17表に示した。

この表において、予測値(1)は各世代に対応する全資料によって得られた予察式(17, 18, 20, 21, 24, 25, 27及び28式)、予測値(2)は過小子測によって生じる危険を

第17表 発生予察式から予測した1980年の各世代の密度と実測値の比較

世代	津 軽 地 域				南 部 地 域			
	実 測 値	予測値1 ⁽¹⁾	予測値2 ⁽²⁾	予測値3 ⁽³⁾	実 測 値	予測値1	予測値2	予測値3
1	0.80×10^{-3}	0.13×10^{-2}	—	—	0.83×10^{-2}	0.25×10^{-2}	—	—
2	0.49×10^{-2}	0.71×10^{-3}	0.44×10^{-2}	0.80×10^{-2}	0.25×10^{-1}	0.94×10^{-1}	—	0.10
3	0.39×10^{-1}	0.54×10^{-1}	0.74×10^{-1}	0.34×10^{-1}	0.62×10^{-1}	0.14	0.44×10^{-1}	0.17
4	0.22	0.27	0.31	0.30	0.55×10^{-1}	0.15	—	0.26
1'	—	0.13×10^{-2}	—	—	—	0.12×10^{-3}	—	—

注 (1) 各世代の全資料から得た予察式による予測値
 (2) 安全性を考慮した予察式による予測値
 (3) 第2世代～第4世代をプールした予察式による予測値

避けようとした予察式(19, 22, 23及び26式), 予測値(3)は第2世代から第4世代に対応する全資料をこみにして求めた予察式(29及び30式)によって予測された値である。これら3つの予測値を与える予察式をそれぞれ予察式(1), 予察式(2), 予察式(3)とし, 第*i* (*i* = 1, 2, 3, 4) 世代の実測値に対する各予察式 (*j*; *j* = 1, 2, 3) による予測値の比を $R_{i,j}$ とすると, 実測値と予測値が一致すれば $R_{i,j} = 1$, 過小予測では $0 < R_{i,j} < 1$, 過大予測では $R_{i,j} > 1$ となり, 一致性の指標となりうる。

$R_{i,j}$ を求めたところ, 津軽地域では

$R_{1,1} = 1.6$	$R_{1,2} = \text{—}$	$R_{1,3} = \text{—}$
$R_{2,1} = 0.14$	$R_{2,2} = 0.89$	$R_{2,3} = 0.90$
$R_{3,1} = 1.38$	$R_{3,2} = 1.90$	$R_{3,3} = 0.87$
$R_{4,1} = 1.22$	$R_{4,2} = 1.41$	$R_{4,3} = 1.36$

南部地域では

$R_{1,1} = 0.30$	$R_{1,2} = \text{—}$	$R_{1,3} = \text{—}$
$R_{2,1} = 3.76$	$R_{2,2} = \text{—}$	$R_{2,3} = 4.00$
$R_{3,1} = 2.26$	$R_{3,2} = 0.71$	$R_{3,3} = 0.71$
$R_{4,1} = 2.72$	$R_{4,2} = \text{—}$	$R_{4,3} = 4.73$

が得られ, 南部地域よりも津軽地域で予測値と実測値との一致性が高かった。

第*i* 世代密度の実測値を I_i , 予察式 *j* による予測値を $\hat{D}_{i,j}$, 過去の平均を \bar{I}_i とすれば

$$\rho_{i,j} = \sqrt{\frac{(I_i - \hat{D}_{i,j})^2}{(I_i - \bar{I}_i)^2}}$$

は予察効果の指標となりうる。この場合, 予察効果があれば $\rho_{i,j} < 1$ で, 実測値と予測値が一致すれば $\rho_{i,j} = 0$, 予察効果がなければ $\rho_{i,j} > 1$ である。 $\rho_{i,j}$ を求めた結果, 津軽地域では

$\rho_{1,1} = 8.33$	$\rho_{1,2} = \text{—}$	$\rho_{1,3} = \text{—}$
$\rho_{2,1} = 1.13$	$\rho_{2,2} = 0.14$	$\rho_{2,3} = 0.84$
$\rho_{3,1} = 0.41$	$\rho_{3,3} = 0.95$	$\rho_{3,2} = 0.14$

$$\rho_{4,1} = 0.33 \quad \rho_{4,2} = 0.60 \quad \rho_{4,3} = 0.53$$

南部地域では

$$\rho_{1,1} = 1.12 \quad \rho_{1,2} = \text{—} \quad \rho_{1,3} = \text{—}$$

$$\rho_{2,1} = 1.60 \quad \rho_{2,2} = \text{—} \quad \rho_{2,3} = 1.74$$

$$\rho_{3,1} = 0.44 \quad \rho_{3,2} = 0.10 \quad \rho_{3,3} = 0.60$$

$$\rho_{4,1} = 0.21 \quad \rho_{4,2} = \text{—} \quad \rho_{4,3} = 0.46$$

が得られた。

独立資料に対する有効性の検討を単年度についてしかできないので, どの予察式が最も有効かの結論は下せないが, 津軽地域では $R_{i,j}$ の平均が $\bar{R}_{i,j} = 1.17$, $\rho_{1,1}$ を除く $\rho_{i,j}$ の平均が $\bar{\rho}_{i,j} = 0.56$ であり, 一応の予察効果を示したとみなすことができる。南部地域では $\bar{R}_{i,j} = 2.40$, $\bar{\rho}_{i,j} = 0.78$ であり, 一致性がよくなかった。

南部地域で一致性が悪かったのは, 1980年における第2世代以降のキンモンホソガの発生密度が予察式作製に用いた各世代の最低密度よりも低く経過したため, 予測値を求めるにあたって外挿せざるを得なかったことによるとみられる。1980年は低温に経過し, 特に南部地域では冷夏, 長雨, 日照不足のため水稻の作況示数が0.2~0.3といった冷害年であった。キンモンホソガが低密度に経過した理由は明らかでないが, このような異常気象も何らかの形で関与しているとみられる。将来, このような異常年の資料も予察式に組み込むことによって, 予察式の改善が可能と思われる。

2. ベータ分布の母数と程度別発生園地割合の予測

津軽地域の巡回調査で得られた個々の園について潜孔葉率から求めた全体の平均潜孔葉率と分散を用いて推定したベータ分布の母数 *a*, *b* を c_0, b_0 , 平均潜孔葉率と分散との回帰関係で決定係数が最も高い値を示した(85式)に平均値の予測値を代入して得た分散から求めたものを \hat{a}_S, \hat{b}_S , 平均と母数との関係から求めたものを \hat{a}_X, \hat{b}_X とし, 第18表に対比した。

第18表 予測値に基づいて計算した津軽地域の平均潜孔葉率, 分散及びベータ分布の母数とこれらの実測値との比較

世代	潜孔葉率		s ²		a			b			
	実測値 (O)	予測値 ⁽¹⁾ (E)	O	E ⁽²⁾	a ₀	a _{x̄}	a _s	b ₀	b _{x̄}	b _s	
1	0.2583 × 10 ⁻²	0.476 × 10 ⁻²	0.3354 × 10 ⁻⁴	0.4069 × 10 ⁻³	0.1958	0.138	0.051	77.6177	28.782	10.592	
2	0.4167 × 10 ⁻²	①0.640 × 10 ⁻³	0.1298 × 10 ⁻³	①0.7203 × 10 ⁻¹⁵	0.1291	①0.137 ≐ 0	②0.138 0.072	30.8404	①214.062 ≐ ∞	② 3.633 18.938	
		②0.377 × 10 ⁻²		②0.1877 × 10 ⁻³					③0.138 0.037		③ 20.387 5.507
		③0.672 × 10 ⁻²		③0.1020 × 10 ⁻²					①0.143 0.077		① 3.201 1.714
3	0.1124	①0.428 × 10 ⁻¹	0.6496 × 10 ⁻²	①0.1468 × 10 ⁻¹	0.1112	②0.145 0.110	3.4932	③0.141 0.049	② 2.358 1.782		
		②0.581 × 10 ⁻¹		②0.1892 × 10 ⁻¹					③ 5.018 1.754		
		③0.273 × 10 ⁻¹		③0.9473 × 10 ⁻²					①0.172 0.594	① 0.672 2.319	
4	0.1515	①0.204	0.3558 × 10 ⁻¹	①0.4150 × 10 ⁻¹	0.3959	②0.179 0.707	2.2171	③0.177 0.681	② 0.588 2.327		
		②0.233		②0.4430 × 10 ⁻¹					③ 0.606 2.331		
		③0.226		③0.4365 × 10 ⁻¹							

注 (1) 予察式によって予測した潜孔密度を第1世代では(9)と(10)によって, 第2~第4世代では(9)式によって潜孔葉率に変換した。
 (2) (1)の予測値を用い(5)式によって求めた。
 (3) ①②③は予察式1, 2, 3による予測値。

a₀ と a_{x̄}, a_s を比較すると a_{x̄} はほぼ近似の値を示したが, a_s はいずれも過小推定となった。b₀ と b_{x̄}, b_s との関係でもおおまかな傾向としては b_{x̄} の方が良い近似値を示した。ここに示した個々の事例について, ベータ分布の理論値を求めることは面倒なので, 個々の予察式を基にして推定した母数を世代ごとに平均し, そ

の値を用いて理論分布を計算した。こうして求めた理論分布から発生程度を発生予察要項の基準に従って分類した結果は第19表の通りである。

ここで, 理論分布では発生程度の「無」に相当するものはないが, 計算の便宜を考慮して, 1%以下を「無」として取り扱った。

第19表によると, 実測値から求めた a₀, b₀ による理論値はおおむね実際の発生園地割合と一致し, 実用的な立場からはベータ分布で記載が可能という第VIII章の結論を支持する結果が得られた。又, 理論値の「無」の規準は単に計算の便宜を考慮して決定したものであるが, 1%以下を「無」とすることによって, はほぼ実測値と近似した分類が可能であった。

a_{x̄}, b_{x̄} による理論値は第1世代から第3世代までは実測値に近い値を示したが, 第4世代では「甚」が過大推定となった。これは b の推定値が b_{x̄} < 1 となったためである。第12表によると密度が最大となる第4世代でも b が b < 1 となる事例は少ないのに対し, (9)式の推定式では潜孔葉率が13.7%以上のとき b < 1 と推定される。a, b < 1 ではU字型の理論分布が得られるが, 第14図で明らかのように実際の分布は第4世代においてもU字型となることはなかった。潜孔葉率が10%から40%の間の資料数が不足している現段階では統計的な手法による改善はできないので, この間の予測値に対しては a_{x̄}, b_{x̄} は適用できないと考えるべきである。

a_s, b_s による理論値は全体的に発生程度を高めて予測する傾向が強かった。しかし, 第4世代に対する予測

第19表 発生程度別園地割合の実測値と予測値の比較

世代		無	少	中	多	甚
1	実測値	78.3	21.7	0	0	0
	I _P (a ₀ b ₀) (1)	88.0	12.0			
	I _P (a _{x̄} b _{x̄})	78.2	21.8	0	0	0
	I _P (a _s b _s)	69.9	29.8	0.3	0	0
2	実測値	81.7	18.3	0	0	0
	I _P (a ₀ b ₀)	78.1	21.9	0	0	0
	I _P (a _{x̄} b _{x̄})	90.3	9.7	0	0	0
	I _P (a _s b _s)	71.2	28.6	0.2	0	0
3	実測値	53.5	44.8	0	1.7	0
	I _P (a ₀ b ₀)	52.3	42.2	4.6	0.8	0.1
	I _P (a _{x̄} b _{x̄})	49.1	44.8	5.1	0.9	0.1
	I _P (a _s b _s)	48.8	39.6	7.5	3.1	0.1
4	実測値	15.0	63.3	13.3	6.7	1.7
	I _P (a ₀ b ₀)	21.2	55.4	16.8	6.2	1.4
	I _P (a _{x̄} b _{x̄})	27.7	36.4	12.5	7.9	15.8
	I _P (a _s b _s)	8.5	55.9	23.4	10.0	2.2

注 (1) I_P(a, b) = B_P(a, b) / B(a, b)

値は \hat{a}_x, \hat{b}_x による理論値よりも実測値に近い結果を示した。従って、 \hat{a}_x, \hat{b}_x が利用できない13~40%の予測値

に対しては、その欠点を考慮に入れるならば、 \hat{a}_s, \hat{b}_s の利用も可能とみられる。

X 総 括

本稿で取り扱ったような広域面積を対象とする調査では広範囲にわたる情報を限られた期間と人員で収集しなければならぬので、精度を多少犠牲にしても、できるだけ簡単な調査方法が求められる。キンモンホソガの調査でも、1果そう(又は葉)ごとの潜孔の計数は避け、潜孔の有無によって潜孔果そう(又は葉)率を求めている。ちなみに、1果そう(又は葉)ごとに潜孔を計数するためには、野帳記入者と計数者各1名が調査の最小単位であり、この方法では他の病害虫の同時調査も合すると1回の調査でも野帳が膨大なものとなる。これに対して、巡回調査による調査方法では計数器を持った1名の調査員が最小単位であり、野帳への記載も単純となる。したがって、調査結果の諸計算も短い時間で済む。この方法によって、密度の高い第3世代や第4世代では控え目に見積っても労力を5分の1程度には短縮できる。しかし、このような資料では経時的な密度変動の解析はできないので、潜孔葉率を潜孔密度へ変換しなければならぬ。変換の方法には調査単位当りの潜孔数が特定の理論分布に従うと仮定して、分布型の0項の確率と平均値との関係を利用することも可能であるが(例えば、伊藤1963)、ここでは、特定の分布型を仮定しなくても、潜孔葉率と潜孔密度に関する過去の資料から比較的簡単に計算ができる河野ら(1958)の方法を用いた。

地域全体の平均密度は厳密には個々の園における平均潜孔葉率を潜孔密度に変換し、その和を調査園数で割って求めるべきである。しかし、津軽地域の資料を用いて検討したところ、地域全体の平均潜孔葉率を直接変換することによって計算を簡略化し得るとみなされた。そこで、南部地域の平均密度は簡略法によって求めた。

一般に、巡回調査結果は、各病害虫ごとにあらかじめ定められた基準に従って、「無」、「少」、「中」、「多」、「甚」の各階級への頻度割合(又はこれから算出した程度別発生面積)で表示される。この表示法はそれぞれの病害虫による被害状況を把握するには有効であるが、全体の発生量の把握には不十分であることが指摘された。すなわち、各階級の中央値を用いて求めた平均潜孔葉率あるいは中央値の変換値から求めた平均潜孔密度は元の資料から求めた平均潜孔葉率あるいは平均潜孔密度よりも過大となる傾向がみられ、そのため各世代の年次変動や同一年次の世代間変動が過小に評価されるからである。したがって、程度別の発生割合とともに、全体の平均潜孔葉率も表示することが望まれる。又、これまでは

発生程度の基準は世代に関係なく同一のものが使われてきたが、世代に対応した表示法に改善する余地があるようにも思われる。

巡回調査によって推定した平均密度の精度を11地点において1地点3園、1園5樹、1樹30果そう(又は葉)の多段抽出からなるりんご試資料を用いて、間接的に推定した。その結果、広域面積を対象としたこの種の資料としては精度の良い部類に入るとみなされ、ここでの目的を達成しうる程度の精度を確保していると結論された。

そこで、津軽、南部両地域に対して得られた平均密度をそれぞれの個体群の特性値とみなし、経時変動を特徴づける各世代の密度水準の高さ、密度変動の大きさ及び自然調節の強さの3要素(久野1969)について検討した。各世代の密度水準は津軽、南部いずれの地域でも世代の経過とともに増大し、最終世代の第4世代が最高密度となった。両地域の第1世代と第4世代の密度はほぼ同じ水準にあり、第2世代と第3世代の密度水準は津軽地域よりも南部地域が高く、南部地域の第2世代が津軽地域の第3世代とはほぼ同じ水準で、南部地域の第3世代が津軽地域の第3世代と第4世代の中間的な水準にあった。この違いをもたらす原因について若干の考察を試み、人為的な防除上の違いが大きな要因であろうと推察された。

各世代の年次間変動は一貫して南部地域よりも津軽地域の方が大きかった。VARLEY and GRADWELL (1960)が生命表分析の手段として提唱し、久野(1969)が多化性昆虫の密度変動を解析するために拡張した方法を用いて、ある世代の年次変動をもたらす2つの構成要素(前世代密度と増殖率)の相対的重要性を検討した。その結果、多くの場合、前世代の密度が相対的に重要であった。

自然調節の働きは概して津軽地域よりも南部地域の方が強い傾向が認められた。しかし、自然調節がどのような機構を通じて働いているかを十分には明らかにできなかった。

相続く2つの世代の密度から回帰式を求め、発生量の予察を試みた。調査年次数が少ない点では問題がないとは言えないが、キンモンホソガの防除を目的とする実用的な見地からは多少精度を犠牲にしても、予測によってもたらされる防除上の安全性の高い方が望ましいとみられ、そういった面からここで得られた予察式(18, 19,

22, 23, 25, 26, 27, 28) は実用可能と考えられる。MORRIS (1959) はトウヒノシントメハマキの発生量の予察を行う際に、ある世代と主要な要因との回帰式によって説明し得ない部分、すなわち回帰式による期待値と実測値の差を別の要因との回帰で説明することによって精度を高めた。彼は多くの害虫では2, 3個の要因を取り上げることによって実用的な予察式が得られると主張している。恐らく、このような方法によって、キンモンホソガの予察式もさらに精度を高めることは可能とみなされる。しかし、調査年次数が少ない現段階ではさらに付加すべき要因の検討が十分にできないので、将来の課題として残した。

個々の園あるいは近接する地点の群における世代間の関係についても若干検討した。その結果、ある世代の密度が全体の平均よりも高い地点あるいは地点群では次世代密度も高く、低い場合は低いといった傾向が認められたが、実用的な予察式は得られなかった。

平均潜孔葉率の地点間分布を調べたところ、その頻度分布は0の近くに大きく偏っていた。この事実はキンモンホソガの発生が少ないにもかかわらず防除対策を講じている園地が少なくないのではないかという疑問と同時に、キンモンホソガの被害解析がほとんど進展していない現段階でもかなりの部分に相当する園地において防除対策の省略が可能であろうということを示唆する。近年、総合防除の重要性が指摘され、その研究も多くの害虫で進行しており、一部の害虫では体系化もされている(例えば、深谷、桐谷1973, 小山1972, 1978)。総合防除では害虫による被害が許容しうる被害水準を越えたと予測されるときにのみ一時的に害虫の密度を減らすための防除手段を講じる。そのためには、被害解析による許容水準の設定と発生予察に関する研究が最も基本的に重要な課題である。そのため、多くの場合、最も基礎的な研究が最も応用的であるという立場から、伝統的な研究方針がとられている。しかし、このような方針ではその体系化に時間がかかるという欠点もある。被害解析等の重要な基礎的研究を進めつつも、従来の経験から一応問題がなさそうな水準を暫定的に設定し、実用化して行くだけでもかなりの部分で殺虫剤の低減が可能である。この場合、第V章2節で考察した時間と潜孔数を考慮に入れた尺度による平均値を目安にすることも一方法であろう。この6年間にキンモンホソガの多発で防除が大変であったといわれる園でも、それによって当年の果実への決定的な影響あるいは翌年の花芽形成量への影響があったという事例はめったになかったことから、これまでの平均累積密度付近では一応安全とみなせるからである。

平均潜孔葉率の園地間分布は、実用的な立場からはべ

ータ分布で近似しようとみなされた。平均密度と分散及びベータ分布の2つの母数との関係を検討し、平均密度から分散あるいは母数の推定値を得るための回帰式を作製できた。

予察式を得るために用いた資料とはまったく独立な1980年の資料を用いて、予察式の有効性を検討したところ、南部地域ではあまり良い結果が得られなかったが、津軽地域ではほぼ満足のいく結果が得られた。一般に、過去の資料による統計的な予察式は、それを得るために用いた変数の範囲内にある独立変数に対しては有効性を発揮するが、範囲外の変数に対してはほとんど有効性がないと考えられる。南部地域であまり良い結果が得られなかったのは、1980年の異常気象が関与したとみられるこれまでに経験したことがないほどの低密度で経過したことを考慮するとむしろ当然ともいえる。

津軽地域の資料を用いて、予察式で推定した平均密度からベータ分布の母数を推定した。これを用いて発生予察要領による発生程度別の園地割合を推定し、実測値との比較を試みたところ、一致性は必ずしも良いとは言えないが、実用的な立場からはほぼ満足すべき結果が得られた。

ここで得られた予察式は独立変数が1つだけといった極めて簡単なものである。将来、十分な資料が蓄積された段階では気象資料なども独立変数に取り入れることが可能であろうが、資料数の少ない現段階では単に変数を増やして回帰残差を小さくすることは本稿の目的に添わない。将来、このような処理も可能になれば、是永ら(1978)がヤノネカイガラムシの発生予察で成功したように、地域をダミー変数として取り入れることによって、一方の地域で経験したことがない現象でも他方の地域で経験した現象を基にして予察しうる可能性もある。今のところ、主として労力的な問題から巡回調査では天敵の発生状況についてはまったく調査が行われていない。又、害虫の発生変動にとって農薬の影響は重要であるが、これについても十分な資料はとられていない。将来、このような資料も蓄積されていけば、予察の精度をさらに高めることが可能であろう。

実用的な立場からは、本稿の第Ⅵ章で取り扱った空間的な側面を重視した解析がより重要であるが、ここでは十分な解析ができなかった。近年の大型コンピュータの進歩に伴って、いくつかの観測点における気象現象の主成分分析、判別解析、正準相関などの多変量解析が行われている(例えば、鈴木1968)。病害虫の発生予察でもこのような解析を行うことによって、有益な情報を得ることが可能と思われるが、今後の課題とし、ここでは取り扱わなかった。

引用文献

1. 青森県農林部りんご課(1979) 青森県りんご統計表(りんご課資料 260号) PP 124.
2. DEMPSTER, J. P. (1968) Intra-specific competition and dispersal: As exemplified by a *Psyllid* and its *Anthocorid* predator. SOUTHWOOD, T. R. E. 編 "Insect Abundance". Blackwell, Oxford. 8-17.
3. 藤家 粹・清水喜一(1975) ナシに寄生するハダニ類の密度推定. 千葉県農業試験場報告 16: 69-74.
4. 藤家 粹・清水喜一(1977) ナシに寄生するハダニ類の密度推定. 農作物有害動植物発生予察特別報告 31(Ⅲ) ナシのハダニ: 1-8.
5. 深谷昌次・桐谷圭治編(1975) 総合防除. 講談社 東京 PP 415.
6. 石川栄助(1955) 実務家のための新統計学. 樞書店 東京 PP 426.
7. ITô, Y. (1960) Ecological studies on population increase and habitat segregation among barley aphids. *Bull. Nat. Ins. Agri. Sci., C.* 11: 45-130.
8. 伊藤嘉昭(1963) 動物生態学入門. 古今書院 東京 PP 394.
9. ITô, Y. (1972) On the methods for determining density dependence by means of regression. *Oecologia (Berl.)* 10: 347-372.
10. 伊藤嘉昭・村井 実(1977) 動物生態学研究法(上巻) 古今書院 東京 PP 268.
11. 伊藤喜隆・北村泰三(1978) リンゴハダニの発生量の予察法. 農作物有害動植物発生予察特別報告 30(Ⅱ) リンゴハダニ: 51-54.
12. IWAO, S. (1971) Dynamics of numbers of a phytophagous lady-beetle, *Epilachna vigintioctomaculata*, living in patchily distributed habitats. *Proc. Adv. Study Inst. Dynamics Number Popul. (Oosterbeck, 1970)*: 129-147.
13. JOHNSON, C. G. (1969) *Migration and dispersal of insects by flight*. Methuen & Co., London. PP 763.
14. 神山 彰・花田裕二(1979) コカクモンハマキの時期間及び世代間の発生量の関係. 東北の植物防疫 (1): 36-41.
15. 川嶋浩三・山田雅輝・関田徳雄(1979) 防除体系が異なる園地でのキンモンホソガ生命表の比較. 昆虫第39回. 応動昆第23回合同大会講演要旨.
16. KENDAL, M. and STUDENT, A. (1977) *The advanced theory of statistics. Vol. 1 (4th ed.)*, Charles Griffin & Co. Ltd., London & High Wycombe. PP 472.
17. 小林次郎・小山重郎(1977) 抽出ほ場調査による水稲病害虫発生実態調査の試み. 北日本病虫研報 28: 30-37.
18. 河野達郎・杉野多万司(1958) ニカメイチュウ被害茎密度の推定について. 応動昆 2: 184-188.
19. 是永龍二・塩見正衛・広崎昭太・中村和雄・伊藤祐基・木村義典・上村道雄(1978) 重回帰分析によるヤノネカイガラムン雌成虫寄生数の予察. 応動昆 22: 141-151.
20. 小山重郎(1972) ニカメイガに対する農業依存度の軽減に関する研究. 秋田農試研究報告 22: 1-27.
21. 小山重郎(1878) ニカメイガの要防除密度. 植物防疫 32(8): 309-312.
22. 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(2): 131-246.
23. KUNO, E. (1971) Sampling error as a misleading artifact in "key factor analysis". *Res. Popul. Ecol.* 13: 28-45.
24. KUNO, E. (1973) Statistical characteristics of the density-independent population fluctuation and the evaluation of density dependence and regulation in animal population. *Res. Popul. Ecol.* 15: 99-120.
25. 黒子 浩(1969) 原色日本蛾類幼虫図鑑下巻(一色周知監修). 保育社 東京 PP 237.
26. 森 介計・武智文彦(1977) ミカンハダニの寄生密度と寄生率との関係及びほ場密度の推定. 農作物有害動植物発生予察特別報告 26(1): 12-16.
27. 森下正明(1950) ヒメアメンボの棲息密度と移動 —動物集団についての観察と考察—. 京大生理生態

- 学研究業績 66 : 1-149. (森下正明生態学論集第1巻. 思索社 東京 PP 960による)
28. MORRIS, R. F. (1959) Single-factor analysis in population dynamics. *Ecology* 40 : 580-588.
 29. MORRIS, R. F. (1963) Predictive equations based on key factors. *Mem. ent. Soc. Canada* 32 : 16-21.
 30. NEILSON, M. M. and R. F. MORRIS (1964) The regulation of european sawfly numbers in the Maritime Provinces of Canada from 1937 to 1963. *Canad. Ent.* 96 : 773-784.
 31. 農林省農政局 (1971) 農作物有害動植物発生予察事業実施要綱及び要領 PP 209.
 32. RICHARDS, O. W. and T. R. E. SOUTHWOOD (1968) The advance of insects; Introduction. SOUTHWOOD, T. R. E. 編 "*Insect Abundance*". Blackwell, Oxford. 1-7.
 33. 関田徳雄・山田雅輝 (1973) ミダレカクモンハマキのふ化期の予測に関する研究. 北日本病虫研報 24 : 23-27.
 34. 関田徳雄 (1976) キンモンホソガの発生消長と防除. 青森農業 27(7) : 11-14.
 35. SEKITA, N. and M. YAMADA (1979) Studies on the population of the apple leaf miner, *Phyllonorycter ringoniella* MATSUMURA (Lepidoptera : Lithocolletidae). III. Some analyses of the mortality factors operating upon the population. *Appl. Ent. Zool.* 14(2) : 137-148.
 36. 志賀正和 (1979) オビカレハ個体群の動態に関する研究. 果樹試験場報告 A(6) : 59-168.
 37. STEINER, H. (1971) Plant protection with and without risks. *Eppo. Bull.* 1 : 25-38.
 38. 鈴木栄一 (1968) 気象統計学. 地人書館 東京 PP 314.
 39. 高橋佑治・成田 弘 (1964) キンモンホソガに対する研究 II, 加害様相について. 北日本病虫研報 15 : 116-117.
 40. 高木信一・西野 操 (1957) ニカメイチュウ被害調査株の選定. 静岡農試報告 2 : 137-147.
 41. 津川 力・山田雅輝 (1959) リンゴ園における害虫類の発生予察 I. クワコナカイガラムシ越冬卵のふ化初発日の予察について. 応動昆 3 : 172-176.
 42. 津川 力・山田雅輝 (1960) リンゴ園における害虫類の発生予察 II. モモンクイガの幼虫期における成長について. 応動昆 4 : 96-101.
 43. 津川 力・山田雅輝・白崎将瑛 (1961) リンゴ園における害虫類の発生予察 III. リンゴハダニ越冬卵のふ化初発日の予察について. 応動昆 5 : 167-173.
 44. 津川 力・山田雅輝・白崎将瑛 (1962) リンゴ園における害虫類の発生予察 IV. モモンクイガ第1化期成虫の出現期について. 応動昆 6 : 1-7.
 45. 津川 力・山田雅輝・白崎将瑛 (1963) モモンクイガの夏マユ形成期と成虫の羽化期について. 東北農業研究 5 : 153-154.
 46. 津川 力・山田雅輝・白崎将瑛・小山信行 (1964) リンゴ園における害虫類の発生予察. 第6報 モモンクイガ越冬幼虫の生殖巣の発達. 応動昆 8 : 111-117.
 47. 津川 力・山田雅輝・白崎将瑛・小山信行 (1966) リンゴ園における害虫類の発生予察. 第7報 リンゴハダニの休眠終了と温度の関係. 応動昆 10 : 174-180.
 48. 津川 力 (1972) リンゴ園における主要害虫類の発生予察. 青森県りんご試験場報告 16 : 1-73.
 49. 内田正人 (1977) ナンに寄生するハダニ類の密度推定法. 農作物有害動植物発生予察特別報告 31(III) : 21-23.
 50. VARLEY, G. and G. R. GRADWELL (1960) Key factors in population studies. *J. Anim. Ecol.* 29 : 399-401.
 51. VARLEY, G. C., G. R. GRADWELL and M. P. HASSELL (1973) *Insect population ecology; An analytical approach*. Blackwell, Oxford. PP 212.
 52. 山田雅輝・小山信行・関田徳雄・白崎将瑛・津川 力 (1970) リンゴ園における害虫類の発生予察, 第8報 キンモンホソガの津軽地方における生活史と青森県平賀町における異常発生について. 青森県りんご試験場報告 14 : 1-27.
 53. 山田雅輝・小山信行・関田徳雄 (1972) キンモンホソガ個体群に関する研究 I. リンゴ樹内における mine の分布. 青森県りんご試験場報告 17 : 1-17.
 54. 山田雅輝・関田徳雄 (1978) リンゴハダニ発生量の予察. 農作物有害動植物発生予察特別報告

30(Ⅱ) : 33-49.

55. 山田雅輝・川嶋浩三(1980) キンモンホソガの越冬期における生存率と積雪量. 第24回応動昆大会講演要旨

補 注

個々の園における潜孔葉率を河野ら(1958)の経験式によって変換し, これらの値から求める全体の平均密度を $\bar{\lambda}'$ とすると

$$\bar{\lambda}' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left\{ -\frac{\log(1-p_i)}{a} \right\}^{1/b} \dots\dots\dots(1)$$

同じ経験式を用いて, 全体の平均潜孔葉率から変換して得られる全体の平均密度を $\bar{\lambda}''$ とすると

$$\bar{\lambda}'' = \{ -\log(1-\bar{p})/a \}^{1/b} \dots\dots\dots(2)$$

が得られる。ここで, p_i は i 番目の圃場における潜孔葉率, n は調査圃数とする。

(1)と(2)式の()内をテーラー展開して整理すると

$$\bar{\lambda}' \doteq \frac{1}{an} \left\{ \sum_{i=1}^n p_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n p_i^2 \right\}^{1/b} \dots\dots\dots(3)$$

$$\bar{\lambda}'' \doteq \frac{1}{an} \left\{ \sum_{i=1}^n p_i + \frac{1}{2} (\sum p_i^2 - n\sigma^2) \right\}^{1/b} \dots\dots\dots(4)$$

が得られる。ここで, σ^2 は p_i の分散とする。

(3)と(4)式から, p_i の分散が λ に比較して小さい場合, 両者による全体の平均密度の推定値の違いは無視しうる。

Analyses of Extensive Survey Data of the Apple Leaf Miner,

Phyllonorycter ringoniella (MATSUMURA),

with Special Reference to the Prediction of

Population Density in Wide Area

Norio SEKITA and Masateru YAMADA

Aomori Apple Experiment Station

Kuroishi, Aomori, 036-03, Japan

Summary

At present, populations of principal diseases and arthropod pests in apple orchards have been estimated by routine surveys at many fixed spots by the research staffs of the Tsugaru Plant Protection Office and the Nanbu Plant Protection Office. Sixty and thirty orchards have been surveyed in the Tsugaru area and in the Nanbu area, respectively. In this paper, we analysed data of the apple leaf miner, *Phyllonorycter ringoniella* (MATSUMURA) from 1974 to 1979 in order to construct predictive equations of the population densities in wide areas.

In this study, the population densities of the apple leaf miner were estimated by a following method; five trees were randomly chosen from an orchard and the presence or absence of mine was assessed from thirty leaf-clusters per tree for the first generation and from thirty leaves for the second to fourth generation. In order to analyse the population changes, the mean percentage of infestation in each orchard was converted to the mean density by empirical equations of which basis was proposed by KONO and SUGINO (1958), and the overall mean for each area was estimated. The overall mean density of the first generation was further converted to a per-leaf basis by an empirical equation to allow a comparison with other generations.

Preliminary analyses of the variance found in the data which were obtained independently from the routine survey were examined and the result showed that the overall means estimated by this sampling program had rather high level of precision. Thus, analyses of the relationships between consecutive generations would be acceptable statistically.

The population level of the insect was the lowest in the first generation. It increased generation after generation and finally reached the highest in the fourth generation, or the last generation. The population growth rate was found to be the greatest from the first to second generation and the smallest from the third to fourth generation. This phenomenon was more obvious in the Nanbu area.

Annual variation of population density and that of growth rate differed significantly between the two areas studied, not only in features of inter-generation changes but also in their amplitudes. A visual correlation assessment revealed that in many cases the annual variation of the population density in a given generation was correlated with that of a previous generation.

Simple regression equations were calculated to predict the population density of the next generation from the density of a given generation. Predictabilities of these equations were tested by comparing the actual field results in 1980 with those estimated from the equations. Agreements were rather satisfactory in the Tsugaru but not in the Nanbu area. The main reason for the poor prediction in the latter might be due to the fact that the predictive equations

for this area had to be extrapolated beyond the range in which they were constructed because of the abnormally low densities of the insects in the tested year.

Histograms of the percentage infestations were skewed strongly to the right in many cases. The spatial distributions obtained were compared with theoretical distributions derived from the Beta function. In many cases where the chi-square test was allowable, the observed frequencies fitted well to the theoretical distributions. Moreover, even in the cases where the chi-square test was not allowable due to a lack of degrees of freedom, the observed distributions were similar to the theoretical ones visually. Thus, it may be acceptable to describe them by the Beta distribution. By examining the relationships between the mean and the parameters of the Beta distribution, and also between the mean and the variance, it was considered that the two parameters that define the theoretical distribution could be predicted by the calculated mean. Agreements between the actual field results of 1980 and those calculated by predicted parameters were satisfactory. From a practical point of view, it seemed that the discrepancies between them were within a bearable level.