

イネ被害度の逐次抽出検定にもとづくニカメイチュウの発生量予察法

鳥居, 西蔵
九州大学大学院農学研究院附属生物的防除研究施設

<https://doi.org/10.15017/23047>

出版情報：九州大学農学部学藝雑誌. 25 (2), pp.103-112, 1971-01. 九州大学農学部
バージョン：
権利関係：

イネ被害度の逐次抽出検定にもとづく ニカメイチュウの発生量予察法*

鳥 居 西 蔵

Quantitative occurrence prediction based on the sequential sampling test of the degrees of infestation by the rice stem-borer

Torizo Torii

緒 言

1941年、国による病虫害発生予察事業が開始されてから、足掛け30年にもなるが、ニカメイチュウの発生量の予察は、各世代の発蛾最盛期の生息密度推定を目安とする限り、技術的に殆ど未解決で、実用上確立されたとは言いがたい。発生予察は、それが発生期に関するものであれ、発生量に関するものであれ、いずれも、深谷、中塚(1958)が指摘するように、生物的被害と、経済的被害との関係が明らかになつて、はじめて、密度推定のような純生物学的段階から経済的段階へと技術的過程が一貫し、その農業技術的基盤が確立する。この見地から、筆者は、イネの被害度を判定基準とする逐次抽出検定法をはじめて導入し、それによつて、従来の生息密度推定方式にもとづく純生物学的な発生量の予察に代つて、メイチュウの被害度の限界推測をよりどころとした発生量の予察、いいかえれば、経済的知見を織り込んだ発生量の新しい予察方式を立案した。

解析的方法

まずメイチュウによる被害をはかる基準として被害株率を採用した。それは、逐次抽出の点でも、被害茎との定型的量的関係の上からも、最も好適であるからである。被害株とは、1株中被害茎が1茎以上あれば、被害茎の多少にかかわらずその株を被害株とし、被害株1と数え、健全茎のみのとき、すなわち、無被害茎のみのときは、その株を0と数える方式によつて定義され、計量化された。被害茎は、第1世代時には、「葉鞘変色茎」と「心枯茎」を、第2世代時には、

これらに加えて「しいな」をつけて直立する「白穂」もその標識とした。

しかし、実際の調査は、各世代の末期に行なう方式をとつているので、初期被害である「葉鞘変色茎」を直接考慮することは殆どない。

被害度は被害の程度と防除の要否から、日本における平均的慣行基準に従つて、被害株率にもとづいて、軽、中、高の3段階とした。

その限界値は、逐次抽出検定方式に従つて、第1表のようにきめた。この表の分布形式は既知の逐次抽出検定理論に基づくもので、どの場合も、被害株数を抽出単位で割れば、二項型の場合と同じ被害度(被害株率)となるようにしてある。

さて、被害度を防除の要否という慣行基準から3段階に分けたが、この慣行基準は、イネの被害度と減収率との関係から導かれたいわば経験律に外ならないので、その採用は発生量の予察に経済的基準を持ち込んだことを意味する。また後で述べるように、被害株率と株当たり平均被害茎数との間には、各世代を通じて、それぞれ一定の量的関係があることが帰納的に立証されるし、各世代末期の被害茎数はニカメイチュウの発生量と密接な関係にあるので、ここに提案する予察方式は、ニカメイチュウの発生量を経済的観点から予察する道を開いたことを意味する。その上、ここで採用する逐次抽出検定方式は、従来の密度推定方式と違つて、まず予備調査で生息密度の概略を推定し、その結果に応じて、調査のはじめに抽出標本数をきめてかかるという面倒で不確定要素に支配され勝たぬ難点がなく、一定の方式で調査を進めれば、その進行中に被害の程度に応じて一定の判断に達するというもので、現在最も省力的でしかも信頼度の高い方式である。一般に、被害が基だしければ、10のオーダーあるいはそれ

* JIBP, UM の「生物的防除に関する基礎的研究」班の「稲螟虫類とその天敵の生態」に関する研究の一部。

Table I. Limits for the degrees of infested rice-hills available for the sequential sampling plans with two sets of acceptance and rejection equations.

Type of distribution	Items to be sampled	Sampling unit	Degrees of infestation			
			Light	Medium		High
			Upper limit	Lower limit	Upper limit	Lower limit
1. Binomial	Percentage infested rice-hills	1 hill	$p_0=0.05$	$p_1=0.10$	$p_0=0.20$	$p_1=0.40$
2. Negative binomial	No. of infested rice-hills	10 hills	$m_0=0.5$ ($p_0=m_0/10k$)	$m_1=1.0$ ($p_1=m_1/10k$)	$m_0=2.0$ ($p_0=m_0/10k$)	$m_1=4.0$ ($p_1=m_1/10k$)
3. Poisson	No. of infested rice-hills	10 hills	$m_0=0.5$	$m_1=1.0$	$m_0=2.0$	$m_1=4.0$
4. Normal	No. of infested rice-hills	40 hills	$m_0=2.0$	$m_1=4.0$	$m_0=8.0$	$m_1=16.0$

Note 1: Two kinds of errors pertaining to decisions: $\alpha=\beta=0.05$ →Level of confidence: 95%; k being the index for the negative binomial.

Note 2: In the case from 2 to 4 types of distributions, percentage infested rice hills can be obtained by dividing the number of infested rice-hills by sampling unit, respectively.

以下の標本抽出で結論がで、被害のときでも、理論上算定された平均標本数(略して ASN, 普通 20~30)以下で一般に判断に達する。しかも結果の信頼度は、極めて高くきめることができる(第1表の基準では95%においてある)。

被害株率と株当たり平均被害茎数との関係

河野と杉野('58)は、ニカメイチュウによる被害茎の水田内分布(実は度数分布の意)は集中的で負の二項型やその他一般化された Poisson 型に近いが、被害茎の密度(株当たり平均被害茎数)によつてもある変動が見られるとの観点から、被害茎密度と被害株率について次の一般式を仮定した。

$$\left. \begin{aligned} P &= 1 - e^{-m} \\ m &= a\mu^b \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここに P は被害株率((1)式では、0.01~0.99; 百分率にすれば、1%~99%*), μ は被害茎密度すなわち株当たり平均被害茎数, a, b は恒数, e は自然対数の底である。結局, e^{-m} は健全株の出現率に外ならない。恒数 a は、被害茎密度 μ の値の如何にかかわらず、被害茎の水田内分布の分布型によつて定まる常数で、集中的分布では $a < 1$, 均等分布では $a > 1$, Poisson 分布では $a = 1$ となる。分布型で定まる他の指標である

* $P=1$, すなわち、被害株率 100% に対応する μ の値は、 $e^{-a\mu^b} = 0$ となり、求められない。

分散指数 V/\bar{x} とは逆の関係にある。

恒数 b は、被害茎の水田内分布の分布型が被害茎密度 μ の大小によつて変る程度を示す尺度となる。 $b < 1$ なら密度が増すにつれ分布は集中化の方向へ、 $b > 1$ なら均等化の方向へ変化し、 $b = 1$ なら密度によつて分布型は変らぬ場合を示す。

(1) で与えられた関係式は、第2世代の場合によく事実と一致し、経験式として

$$P = 1 - e^{-0.487\mu^{0.937}} \quad (2)$$

が導かれた。彼等によると、(2)式は第1世代時にもほぼ満足すると述べているが、実証の結果は示していない(直接の話では煩雑を避けて実際の計算はしなかつたとのこと)。しかし、彼等は P の 1% から 99% に対応する μ の数表を作製し、その効用如何は、株当たり平均被害茎数を推定する際の簡便法として、被害株率を用いることが労力と費用の節減にどれだけ役立つか否かにあるという注目すべきことを提言している。実は、ここに理想的な省力方式である被害度の逐次抽出検定を導入すべき大きな根拠があつたのであるが、これについては全く触れていない。筆者は、この点にかんがみ、新たに省力と収獲量に関する経済的視野にたつて、被害度の逐次抽出検定方式を導入して、(2)式による数表を利用し、第1世代末期の被害株率の限界を目安とした被害度とニカメイチュウ発生量の限度を検定する方式を予報した。すなわち、第2世代刈取

* 1969年松江市で行なわれた日本昆虫学会年次大会で発表。

期の逐次抽出検定によつて得られる被害株率の限界値をもとに、次世代の発生源となり得る健全幼虫数を、越冬世代および休眠離脱後に生ずる一切の環境抵抗による死滅を考慮して推測し、さらに(2)式の被害株率と株当たり平均被害茎数との関係から次世代(第1世代)末期の被害株率の限界を推測するという方式をとつた。

しかし、その後筆者は多くの資料にもとづいて、第1世代時の被害株率と株当たり平均被害茎数との関係は、河野・杉野の経験式(2)で与えられるものとかかなり違うことを発見し、前記の予報は修正せねばならぬことを知つた。すなわち、全国北は岩手県から、南は鹿児島県まで30県余につき1948~1959年までの第1世代末期の365地点の数万株の成績によつて、被害株率 P と株当たり平均被害茎数 μ との相関図として第I図を得た。この全体的傾向は図示したなめらかな1本の曲線によく代表されるが、特にその代表としてこの曲線に乗るか近接する63地点成績(全地点成績の約17%)を選んだ。なお、この傾向線から比較的大きく外

れて散在する地点成績は、被害株率 P が70~80%以上の場合で、被害度査定基準の最高限度の被害株率40%よりはるかに高い範囲にあり、これらの除外は、以後の推測過程では全く問題とならない。

さて、(1)式の e の冪指数 $m=a\mu^b$ の両辺の常用対数をとると

$$\log m = \log a + b \log \mu, \quad (3)$$

となり、 $\log m$ と $\log \mu$ との間に直線回帰関係が成りたつことを示す。よつて前述の63地点成績にもとづいて、 $\log \mu$ に対すを $\log m$ の回帰を図示すると、第II図のようになめらかな直線性が示され、回帰直線式として

$$\log m = -0.148 + 0.990 \log \mu \quad (4)$$

が得られた*。この回帰係数の有意性は t -検定で、回帰の直線性は F -検定で、ともに危険率1%以下で棄却できない。

さて P と μ の関係式は(4)式から容易に

$$P = 1 - e^{-0.711\mu^{0.990}} \quad (5)$$

となる。ここで恒数 a の値0.711は第2世代時の0.487

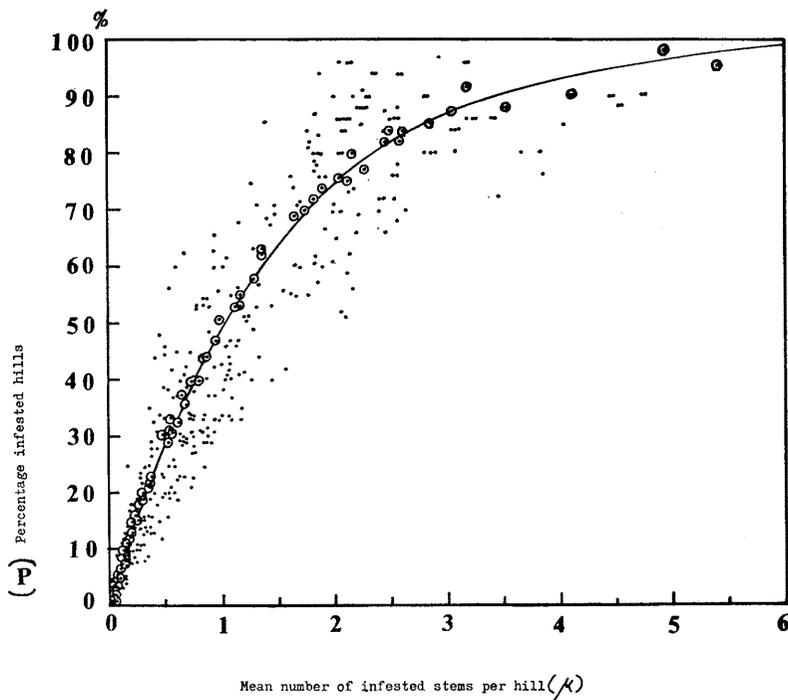


Fig. 1. The quantitative relation between the percentage of infested hills P and the mean number of infested stems per hill μ towards the end of the first generation of the rice stem-borer. (According to the records obtained from extensive districts during the period extending from 1948 to 1959.)

* 計算法の詳細は追記I節参照。

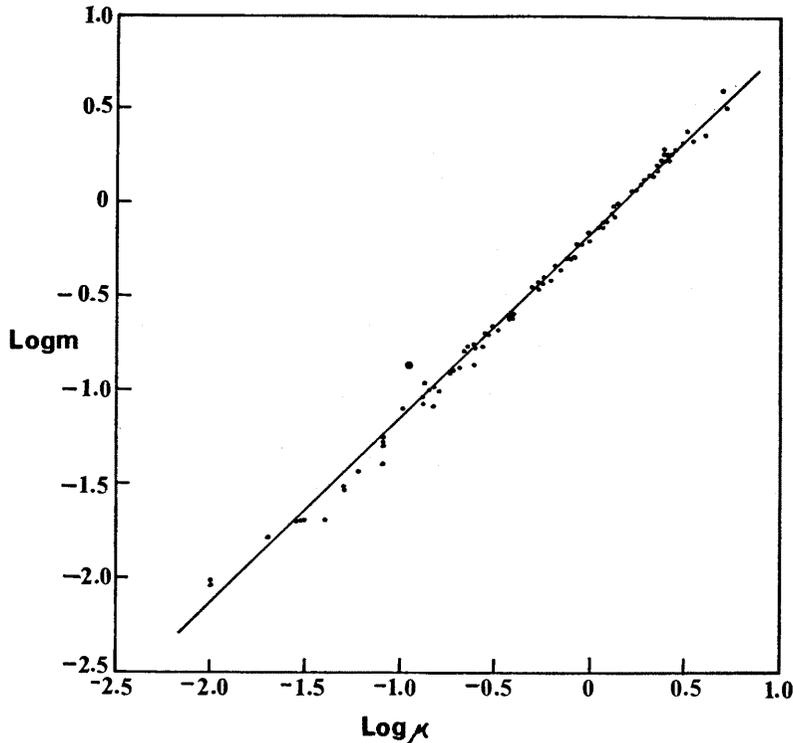


Fig. II. A linear regression of the percentage infested hills P in terms of $\log m$ (where $P=1-e^{-m}$, $m=a\mu^b$) on the mean number of infested stems per hill μ towards the end of the first generation of the rice stem-borer. ($\log m = -0.148 + 0.990 \log \mu$; $P = 1 - e^{-0.711\mu^{0.990}}$.)

(2)式よりかなり大きく、1により近接しているが、 $a < 1$ であるから、被害茎の水田内分布の分布型は集中化の傾向を示しながらも、なお第2世代時に比べ Poisson 型 ($a=1$) 傾向を強め、被害茎の分布は低密度、機会的傾向を増すことを示す。また μ の冪指数 b の値も 0.990 で第2世代の 0.937 ((2)式) よりはるかに1に近似するが、なお $b < 1$ の条件は満たしている。これは、株当たり平均被害茎数の増大につれて、被害茎の水田内分布の型は幾分集中化の傾向を示すが、その程度は第2世代のそれに比べやや弱いことを示す。これらを総合すると、第1世代メイチュウによる被害茎の水田内分布の型は、株当たり平均被害茎数の多少にかかわらず、第2世代の場合に比べ Poisson 型 (このとき $P=1-e^{-\mu}$ となる!) により近くなることを示し、第1、第2世代末期のメイチュウの水田内分散行動の結果とよく符合する。

P に対応する μ の値は (4) 式から容易に

$$\log \mu = (\log m + 0.148) / 0.990 \quad (6)$$

として得られる。しかし実用上の便宜のため、 P の各

値 (0.01~0.99, すなわち1%から99%まで) に対応する μ の値を数表化*した。

被害度査定にもとづく 発生量の予察

第1世代末期の被害株率を、前年第2世代の刈取期に行なつた逐次抽出検定結果にもとづいて予測する方式を記述すれば、次の各段階に別れる。

(1) 第2世代刈取期に採集した被害茎総数を t とし、その被害茎中の総虫数を n とする。これらは、各調査水田で求めねばならないが、被害茎中の総虫数が少くとも 50 以上となるよう配慮する。また、被害茎抜き取りは、調査水田の代表的傾向を示すように十分の配慮をするとともに、いわゆる「戻さない抜き取り」(sampling without replacement) による影響が大きくならぬよう注意する必要がある。このためからもまた予察の適用範囲の点からも調査水田はなるべ

* 数表作製の詳細は追記 II 節参照。

く広くすることが望ましい。抜き取りのためのイネ株選定は、逐次抽出検定と同様に系統的線抽出法（あるいはその変形法）に従つて、全水田を覆うよう配慮する。被害度が著しく軽微な場合を除き、普通 40~50 株ないし 100 株前後から被害茎を抜き取ればよい。第 2 世代末期には、被害度中・高度の場合メイチュウは 1 被害茎当り 1 個体の割合になることが多く、0 あるいは 2 以上のことは、特別異常な微害ないし激甚被害時を除けば、比較的稀な状態といえよう。したがつて上述の抽出手段で総虫数 50 以上を確保することは不可能ではない。

(2) 抜き取られた被害茎はメイチュウとともに適当なガラスチューブなどに入れ室内保存する。経過を促進するために加温法による保存の併用も望ましい。この保存中に寄生天敵生物やその他の原因で死滅した個体数を d とする。すると、抜き取り被害茎中の平均残存健全虫数は被害茎当り $(n-d)/t$ となる。

(3) 第 2 世代刈り取り期に逐次抽出検定で判定された被害株率 $P_0\%$ を、防除の要否と被害度の慣行規準から

$$\left. \begin{array}{l} \text{A: 被害軽度: } P_0 \leq 5\% \\ \text{B: 被害中等度: } 10\% < P_0 < 20\% \\ \text{C: 被害高度: } P_0 \geq 40\% \end{array} \right\} (7)$$

とする。なお、実際の調査では A, B および C の中何れか 1 つの場合* しか起らないことは勿論で、以下の推測についても全く同じである。

(4) (7) 式の被害株率 P_0 の限界値に対応する μ の値を数表 II の Π_{na} 欄 (第 2 世代) より求め、被害度 A, B および C の場合に対応する値をそれぞれ μ_a ; μ_{b1} , μ_{b2} (ただし $\mu_{b1} < \mu_{b2}$); μ_c とすると、第 2 世代末期の実際の株当り平均被害茎数 μ_{02} の限界値はそれぞれ、被害度によつて、

$$\left. \begin{array}{l} \text{A: 被害軽度のとき } \mu_{02} \leq \mu_a, \\ \text{B: 被害中等度のとき} \\ \quad \mu_{b1} \leq \mu_{02} \text{ または } \mu_{02} \leq \mu_{b2}, \\ \quad \text{したがつて } \mu_{b1} < \mu_{02} < \mu_{b2}, \\ \text{C: 被害高度のとき } \mu_{02} \geq \mu_c, \end{array} \right\} (8)$$

となる。

(5) 株当り平均残存健全虫数 N は、被害茎当りの平均残存健全虫数 $(n-d)/t$ と株当り平均被害茎数 μ との積。故に (8) 式の μ_{02} に対応する N の限界値をそれぞれ N_a ; N_{b1} , N_{b2} ; N_c に対応して、 N_a ; N_{b1} , N_{b2} ; N_c とすれば、

$$\left. \begin{array}{l} \text{A: 被害軽度: } N_a \leq \mu_a(n-d)t \text{ 最大値,} \\ \text{B: 被害中等度: } \mu_{b1}(n-d)/t \leq N_{b1} \\ \quad \text{最小値,} \\ \quad \text{または } N_{b2} \leq \mu_{b2}(n-d)/t \text{ 最大値,} \\ \quad \text{したがつて} \\ \quad \mu_{b1}(n-d)/t < N_{b1} < N_{b2} < \mu_{b2}(n-d)/t \\ \text{C: 被害高度: } N_c \geq \mu_c(n-d)/t \text{ 最小値,} \end{array} \right\} (9)$$

この (9) 式の関係を満足する N (下記添号 a, b, c) の値は、次世代の株当り発生源の幼虫数。これから刈り取り期以後越冬世代老熟幼虫から休眠離脱後の幼虫、蛹、第 1 回成虫、その卵の各期を経て、翌年第 1 世代末期までの各種環境抵抗による死滅個体数を除いた虫数を N_{xi} (i は各被害度に対応する下記添記号, $i=0; 1, 2; 3$) とすれば、それは翌年第 1 世代末期の株当り平均健全幼虫数となる。 N_{xi} を前年刈り取り期の被害度に応じて (9) 式の N_a ; N_{b1} , N_{b2} ; N_c から推定すると、

$$\left. \begin{array}{l} \text{A: 被害軽度:} \\ \quad N_{x0} \leq \frac{N_a e f}{m+f} \prod_{k=1}^{\infty} (1-w_k/100), \text{ 最大値,} \\ \text{B: 被害中等度:} \\ \quad N_{x1} \geq \frac{N_{b1} e f}{m+f} \prod_{k=1}^{\infty} (1-w_k/100), \text{ 最小値,} \\ \quad \text{または} \\ \quad N_{x2} \leq \frac{N_{b2} e f}{m+f} \prod_{k=1}^{\infty} (1-w_k/100), \text{ 最大値,} \\ \quad \text{ただし } N_{x1} < N_{x2}. \\ \text{C: 被害高度:} \\ \quad N_{x3} \geq \frac{N_c e f}{m+f} \prod_{k=1}^{\infty} (1-w_k/100), \text{ 最小値.} \end{array} \right\} (10)$$

ここで、 e は蔵卵数; $m: f = \sigma: \varphi$ (性比); w_k ($k=1, 2, 3, \dots$): 部分環境抵抗。なお、生物的要因による環境抵抗分力のうち、寄生種によるものは越冬世代中は刈り取り期の採集幼虫の加温法により、第 1 回成虫の卵塊から第 1 世代末期までは野外採集により、捕食虫によるものは、両期間とも野外観察による。

(6) N_{xi} ($i=0, 1, 2, 3$) は、翌年第 1 世代末期の株当り平均残存健全虫数の限界値である。この時期の健全幼虫 1 匹は、成熟までには、最終的に少くとも 1 茎の被害茎を作ると考えられるから、この時期の株当り平均被害茎数 μ_{01} の限界値は (10) 式から、 N_{xi} で与えられ、

$$\left. \begin{array}{l} \text{A: 被害軽度: } \mu_{01} \leq N_{x0} \text{ 最大値,} \\ \text{B: 被害中等度: } \mu_{01} \geq N_{x1} \text{ 最小値,} \\ \quad \text{または } \mu_{01} \leq N_{x2} \text{ 最大値,} \\ \quad \text{したがつて } N_{x1} < \mu_{01} < N_{x2}. \\ \text{C: 被害高度: } \mu_{01} \geq N_{x3} \text{ 最小値.} \end{array} \right\} (11)$$

* 従つて、ここでの推論形式は一見煩雑の感を与えるが、事実ごく簡単である。

Table II. A table for obtaining the mean number, μ , of infested stems per hill from the value, P , of the percentage of infested hills.

P %	μ		P %	μ		P %	μ		P %	μ	
	Ist	IInd		Ist	IInd		Ist	IInd		Ist	IInd
1	0.014	0.010	26	0.419	0.595	51	1.003	1.493	76	2.025	3.133
2	0.027	0.033	27	0.438	0.624	52	1.032	1.540	77	2.082	3.232
3	0.041	0.051	28	0.458	0.653	53	1.062	1.587	78	2.140	3.326
4	0.055	0.070	29	0.477	0.682	54	1.092	1.635	79	2.211	3.443
5	0.070	0.090	30	0.497	0.713	55	1.124	1.685	80	2.282	3.559
<u>6</u>	<u>0.084</u>	<u>0.112</u>	31	0.518	0.743	56	1.155	1.735	81	2.354	3.679
7	0.099	0.130	32	0.538	0.775	57	1.187	1.787	82	2.440	3.807
8	0.111	0.151	33	0.559	0.807	58	1.222	1.840	83	2.512	3.942
9	0.130	0.172	34	0.580	0.839	59	1.256	1.895	84	2.598	4.090
10	0.145	0.194	35	0.602	0.872	60	1.288	1.951	85	2.699	4.242
<u>11</u>	<u>0.160</u>	<u>0.216</u>	36	0.624	0.905	61	1.324	2.009	86	2.799	4.407
12	0.176	0.238	37	0.647	0.940	62	1.364	2.068	87	2.899	4.584
13	0.192	0.261	38	0.669	0.974	63	1.402	2.128	88	3.014	4.776
14	0.207	0.284	39	0.692	1.010	64	1.440	2.186	89	3.144	4.981
15	0.224	0.308	40	0.729	1.046	65	1.482	2.257	90	3.272	5.223
16	0.241	0.332	41	0.739	1.082	66	1.525	2.321	91	3.416	5.477
17	0.258	0.356	42	0.763	1.120	67	1.568	2.362	92	3.603	5.759
18	0.275	0.381	43	0.788	1.158	68	1.611	2.464	93	3.791	6.085
19	0.291	0.406	44	0.812	1.197	69	1.654	2.533	94	4.021	6.457
20	0.310	0.432	45	0.838	1.237	70	1.696	2.609	95	4.267	6.909
<u>21</u>	<u>0.327</u>	<u>0.447</u>	46	0.865	1.277	71	1.753	2.688	96	4.597	7.462
22	0.345	0.484	47	0.891	1.319	72	1.796	2.772	97	5.015	8.170
23	0.365	0.511	48	0.917	1.362	73	1.854	2.858	98	5.594	9.180
24	0.381	0.539	49	0.946	1.404	74	1.911	2.944	99	6.592	10.918
25	0.400	0.567	50	0.974	1.448	75	1.968	3.035			

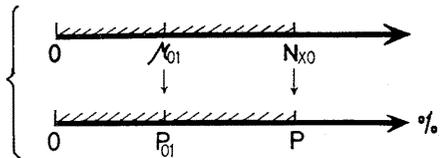
Note:

- (1) { Ist: Ist generation; IInd: IInd generation.
Ist: $P=1-e^{-9.711\mu^{0.990}}$. (T. Torii, 1970); IInd: $P=1-e^{-0.487\mu^{0.937}}$. (Kono, T. and T. Sugino, 1958)
- (2) Figures underlined denote the values of P in relation to those of μ , defined as the limits for them under specified categories of the degrees of infestation, low, moderate and high, respectively.

となる。

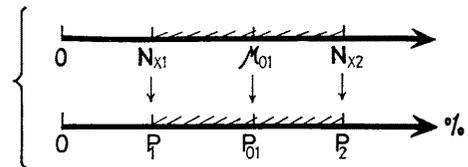
(7) (11) 式の限界値 N_{xi} ($i=0; 1, 2; 3$) に対応して数表 II の I_{st} 欄で μ を求め、これに対応する期待被害株率 P を求めれば、この P は、第 1 世代末期に予測される被害株率 P_{01} の限界値であるから P_{01} と次の関係にある。

A: 被害軽度のとき P は最大値を与えるから、
 $P_{01} \leq P$.



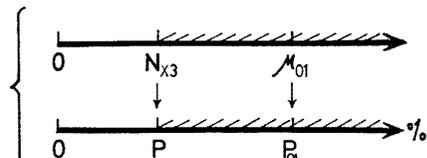
(12: 1)

B: 被害中等度のとき P は許容範囲の両限界値であるから、 N_{x1}, N_{x2} にそれぞれ対応する P を P_1, P_2 (ただし $P_1 < P_2 \therefore N_{x1} < N_{x2}$) とすると、
 $P_1 < P_{01} < P_2$.



(12: 2)

C: 被害高度のときは P は最小値であるから
 $P_{01} \geq P$.



(12: 3)

なる関係をそれぞれ満足する。

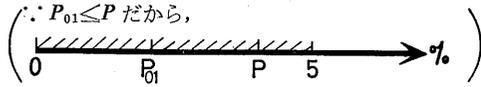
すなわち、第 1 世代末期に予測される被害株率 P_{01} の限界値が (12) 式で示したように P の値として数表 II の I_{st} 欄 (第 1 世代欄) で与えられる。

(8) このようにして予測される被害株率の限界値 P の値によつて被害程度を予測すると、

1) 若し $P \leq 5\%$ ならば

$$P_{01} \leq 5\% \text{ となり}$$

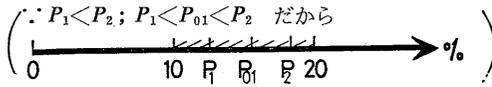
被害は軽度と判定される。



2) 若し $10\% \leq P_1, P_2 \leq 20\%$ ならば

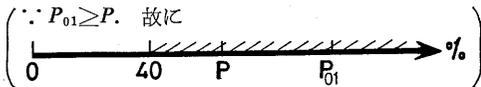
$$10\% < P_{01} < 20\% \text{ となり}$$

被害は中等度と判定される。



3) 若し $P \geq 40\%$ ならば、 $P_{01} \geq 40\%$

となり被害は高度と判定される。



論議と結語

今まで、被害株率と被害茎密度につき帰納的に得られた両者間の定型的関係をもとに、逐次抽出検定結果にもとづいて演繹的に被害度を推測する方式を述べてきた。理論的にいえば、この方式は帰納的結果と演繹的推論に立脚している。それ故、実際の観点からすれば、追究過程の若干に多少の困難性を包含することは否定できない。それにもかかわらず、現在の処理手続は全体的に見て、ニカメイチュウの発生量の予察に関する限り、現状で到達し得る最高水準に接近する道を開くものであるといつても過言ではない。

この方法で最も注意を要することは、休眠離脱後のニカメイチュウの発生量を野外で推算するに当つて、各種の環境抵抗、特に生物的要因によるものを、いかに誤りなく評価するかということである。しかしながら、第1世代の野外調査を遅くも中期末位までに注意深く行なうならば、ほぼその目的を達し得ることは、多くの経験の物語るところである。

この方式にもとづく推測の適否は、第1世代中・後期に被害度の逐次抽出検定を行なうことによつて迅速容易に判定できる。このことは、この方式に特異な注目すべき利点の一つである。この利点によつて、帰納的推測過程に時として生じ得るある種の不可避的諸問題を十分に解析し改善することが可能となる。どんな予察ないし予報技術でも、その結果について迅速且つ

信頼可能な「はどめ」を確保することは極めて望ましいことである。ここで提案した予察方式の手技は正にこのような不可欠の要請に答えるものであるといえよう。

上述の解析過程と原理的に全く同様に、第1世代末期の被害度に関する逐次抽出検定結果から、第2世代末期の被害度を推測できる。この場合は、しかし、数表 II の I_{st} 欄から出発して II_{nd} 欄で予測される被害株率 (例えば P_{02}) の限界値を求めることになる。しかし、日本の温帯ならびに亜熱帯地域では第1世代から第2世代への移行はかなり早く、しかも時として互に一部重複することがあるので、この時期にここに提唱する予察方式を採用することは、実施面でいわゆる短期「拙速」予察のそしりをまぬがれないきらいがある。むしろ、時宜に応じて被害度の逐次抽出検定をよりしばしば適用することを重視する方が望ましい。

要 約

ここに提案した方法は、今日まで約30年間に亘つて未解決だったニカメイチュウの発生量の予察に対する一般的要望に答えて新たに開発されたものである。その骨子は次のように要約される。

ニカメイチュウによる被害度を、慣行の被害株率を基準に、軽、中、および高の3段階に分け、それらを新たに導入した逐次抽出検定法にもとづいて評価した。この逐次抽出検定法は現時点では省力化に最適なものと考えられているが、まだニカメイチュウの被害度査定には用いられたことはない*。もともと、ニカメイチュウによる被害度は、一方では、その発生量に実質的に依存するものであり、他方では、防除の要否、結局は減収量との関連で、経験的にきめられた慣行基準という経済的観点から評価されるものである。それ故、ここで示した予察方式は、正に、当面の問題を、生物学的見地と経済的見地の両者から、近迫する理想的方途を開いたものに外ならない。

問題の解決には、帰納的帰結と演繹的推論の両者を駆使したが、特に、イネの収穫後とニカメイチュウの休眠離脱後の、生物的要因を含めた各種環境抵抗による死滅を重視した。

被害株率 P と株当たり平均被害茎数 μ との間に一般的に成りたつ河野・杉野 ('58) の定型的な量的関係

$$P = 1 - e^{-m}, m = a\mu^b$$

* 筆者は数年前から、学会講演会などで数回発表している。

にもとづいて、ニカメイチュウの第1世代に適用できる数表 (Table II の I_{st} 欄) を新たに作製した。これによつて、第2世代の場合 (Table II の II_{na} 欄) との相違を明確にし、 P と μ の量的関係を一般化し、数表 II の利用範囲を著しく拡大し得た。この数表 II は、ニカメイチュウのイネに対する加害と、その発生量とを結び付けるのに必要不可欠の役割を演ずるものである。

謝 辞

逐次抽出計画や技術的推測の開発はあげて筆者の責任に帰するものであるが、この研究をなし得たのは、ひとえに、九州大学農学部生物的防除研究施設長安松京三教授の全面的激励とご指導の賜である。この研究はまた数年間 JIBP の研究費補助を得て、安松教授を班長とする「生物的防除の基礎的研究」班の一班員として行なつた研究の一部でもある。ここに同教授に対し心から厚く御礼申し上げる次第である。日本南部の山口県や対馬の諸地域で2年以上に亘る野外調査を通じて、筆者は幸にも、ハワイ大学の西田俊之教授、山口県農試萩夏柑分場の野原啓吾博士のあらゆるご協力を得た。水田内での逐次抽出検定や天敵昆虫採集でのご協力は筆舌では尽せない。特に、この研究の開発を奨励された西田教授に深く感銘している次第である。九州大学農学部昆虫学教室の平嶋義宏助教授には、水田での天敵昆虫採集に極めて有効な、同氏創作のマレイズ・トラップの使用を快諾された。野外調査で集積された資料は相当膨大となつたので、紙面の都合上他日適当なところで発表の予定である。昨年松江市で行なわれた日本昆虫学会年次大会で筆者はこの研究に関する予報をしたが、名古屋大学農学部の弥富喜三教授は貴重なご高見とともに研究の発展を期待され、後日、入手困難な資料を下さつた。この研究に重要な部分を占める数表 II の I_{st} 欄の作製はその資料に負うところが多い。両教授に心から感謝の意を表す。数表 II の II_{na} 欄の採用については、原著者の一人、四国農試の河野達郎技師の快諾を得た。記して深く謝意を表する次第である。本文で挙げたように、この研究には、第1世代末期の被害株率と株当たり平均被害基数に関する膨大な資料を殆ど全国農試の謄写刷り記録に求めた。最後に明記して関係各機関の担当の諸賢に厚く御礼申し上げる次第である。

追 記

(I) (3) 式の恒数 a と b の値の算定方法は、 P と

μ の数表の作製に至大の関係があるので、若干の説明を加える必要があろう。(3) 式で μ は観測値であるから、問題はこれに対応する m の値を求めることに帰着する。(1) 式の $P=1-e^{-m}$ より $e^{-m}=1-P$ を得る。この P は被害株率で観測値だから、右辺の $(1-P)$ は既知、したがつて左辺の e^{-m} より m は直接計算から容易に得られる。しかし北川の Poisson 分布表を使えば一層簡単となる。この分布表は、 $x=0, 1, 2, \dots$ に対する Poisson 分布の一般項 $e^{-m}m^x/x!$ の値と対応する m の値をともに詳細に与えたものであるから、 $x=0$ の時の一般項、すなわち、 e^{-m} の欄でこれに対応する m の値を詳しく読みとることができる。したがつて、観測値から得られた $(1-P)$ と等値の e^{-m} の値を表中で探し出せば、これに対応する m の値が容易に求められる。これから $\log m$ を、 P の値に対応する観測値 μ から $\log \mu$ をそれぞれ求めれば、各地点成績ごとに1対の $\log m$ と $\log \mu$ の値が得られ、(3) 式の恒数 a, b の値は回帰直線の計算法によつて容易に算定される。

(II) 前節で述べた計算方法は、既に触れたように、 P と μ に関する数表の作製に本質的關係をもっている。まず、(6) 式の未知項 $\log m$ を求める。このためには、 P の各値 (ここでは、0.01~0.99) に対して $(1-P)$ の値を計算し、 $1-P=e^{-m}$ なる関係から、北川の Poisson 分布表の $x=0$ の欄につき $(1-P)$ と等値の項を求める。次に、その項に示された m の値を引き出せばよい。あとは、対数計算で容易に P の各値に対応する μ の値が (6) 式から得られる。数表 II の I_{st} 欄の数値がそれである。

参 考 文 献

- 深谷昌次・中塚憲次 1956 ニカメイチュウの発生予察。日本植物防疫協会, pp. 173.
 北川敏男 1951 ポアソン分布表。培風館, 東京, pp. 262.
 河野達郎・内田俊郎・吉田敏治・渡辺昭二 1952 ニカメイガ幼虫の水田内における分布様式。昆虫の分布様式に関する研究, 2. 個体群生態学の研究 I, 65-82.
 河野達郎 1953 ニカメイガ幼虫の分布構造にみられる基本集団について。昆虫の分布様式に関する研究, 4. 個体群生態学の研究 II, 95-105.
 河野達郎・杉野多万司 1958 ニカメイチュウ被害密度の推定について。応動昆, 2: 184-188.
 Morris, R. F. 1954 A sequential sampling technique for spruce budworm egg surveys. Can. Jour. Zool, 32: 302-313.
 Nishida, T. and T. Torii, 1970 *A Handbook of*

- Field Methods for Research on Rice Stem-Borers and Their Natural Enemies*. IBP Handbook No. 14. Blackwell Sc. Pub., Oxford and Edinburgh. pp. 132.
- 静岡県農業試験場 1965 ニカメイチュウ被害茎全株調査成績書. pp. 91.
- 鳥居西蔵 1952 昆虫集団の推計法. 「生態学概説」第7章, 養賢堂, 東京. 202-286.
- Torii, T. 1964 Statistical method in rice stem borer research. Chapt. 4, in "The Major Insect Pests on the Rice Plant". IRRI, Johns Hopkins Press, Baltimore, Maryland. 127-167.
- 1970 逐次抽出検定によるニカメイチュウの発生量予察. 九州病害虫研究会, 印刷中.
- 1970 The development of quantitative occurrence prediction based on the sequential sampling test of the economic degrees of infestation by the rice stem-borer, *Chilo suppressalis* Walker. (Entomophaga 印刷中)
- Wald, A. 1947 *Sequential Analysis*. John Wiley & Sons, INC., New York, London, Sydney. pp. 212.
- Waters, W. E. 1955 Sequential sampling in forest insect surveys. *Forest Science*, 1: 68-79.
- 付記: 本文で触れたように, 数表 II の I_{st} 欄作制には, 各県農試で多年に亘り発表された膨大な謄写刷資料を使用した. 煩雑を避け一々記録することを割愛した.

Summary

A new method is presented for predicting the abundance of the rice stem-borer, *Chilo suppressalis* Walker, with objective of opening the way to solving the problem concerned. Some thirty years have elapsed since the predicting work of this pest borer of the rice plant was launched by the Japanese government in 1941, but much yet remains to be solved in the strict sense of the technique.

A method newly developed consists of the following 5 steps in essence:

(1) On the basis of a consistent relation between the percentage infested rice hills P and the mean number of infested stems per hill μ , i.e., $P=1-e^{-m}$, $m=a\mu^b$, which was originally established for the second generation of the borer by Kono and Sugino ('58), a numerical table of μ available for the first generation of the borer was constructed anew in correspondence to the percentage infested rice hills P ($P=0.01\sim 0.99$).

(2) According to the current empirical limits for allowable economic degrees of infestation by this borer, that is, for whether "needing control" or "not needing control", or eventually for the degrees of loss of yield, the possible economic degrees of infestation were classified into three: low (P being equal to, or lower than 5%, the upper limit for "not needing control"), moderate (P lying between the limits from 10% to 20%), and high (P being equal to, or higher than 40%). Corresponding to each case, a set of an "acceptance" and a "rejection" equation of the sequential sampling test can be set up, respectively.

(3) The total number of healthy larvae will be given by the mean number, $(n-d)/t$, of healthy larvae survived per infested stem, where n is the number of living larvae found in the total number (t) of infested stems sampled, d being the number of dead individuals during indoor storage of the collection. As regards the ability of dispersion of this stem-borer, the fact is known that one healthy individual larva attacks at least one stem until the middle and/or the last stage of each generation. Consequently, the average number, N , of healthy larvae survived per hill at these stages of each generation can be given by the product of $(n-d)/t$ and μ , the mean number of infested stems per hill, which can be found in the numerical table Table II according to the value of P obtained from the sequential sampling test carried out at these stages. From these relations, it follows that the limits, N_i , for the values of N which correspond to three classes of economic degrees of infestation can be estimated. Then, the values of N_i will indicate the number of larvae per hill, representing the number of living larvae which are capable for the source of occurrence in the next generation.

(4) Let N_{xi} be the limits for the values of N_i in the case where the mortality due to various environmental resistances including biological factors is subtracted. Then, the limits for the values of N_{xi} will be given by

$$\frac{N_i e f}{m+f} \prod_{k=1}^{\infty} (1-w_k/100),$$

in correspondence to each economic degree of infestation by this stem-borer, where e is the average number of eggs to be deposited, $m:f$ being the sex ratio of male to female, and w_k

the k -th percentage component of environmental resistant factors concerned. These limits for the values of N_{xi} exactly give the limits for the values of μ_{01} , the mean numbers of infested stems per hill to be observed, and naturally from the relation between P and μ , correspond to the values of P in the numerical table Table II.

(5) Thus, let P_{0j} be the percentage infested hills to be predicted towards the end of the next generation, then, in accordance with the economic degrees of infestation, the limits for the values of P_{0j} can be given by the values of P in the numerical table Table II. Consequently, according as the values of P is smaller than 5%, or lie between 10% and 20%, and or larger than 40%, the limits for the values of P_{0j} also can be determined quite similarly. In like manner of inference, the probable percentage infested hills towards the end of any generation can be predicted by the decision reached from the sequential sampling test carried out towards the end of the preceding generation, irrespective of the difference in generation, only if the numerical table (Table II) concerning P and μ is employed correctly, that is, against the prediction in the first generation, the table for the first generation use (Column I in Table II), and against the prediction in the second generation, the table for the second generation use (Column II in Table II) is employed, respectively.

The advantage of this new method lies in the following three points:

(1) A sequential sampling test which is effective in saving time, labour, and expenses was first introduced into the prediction of the abundance of the rice stem-borer and it is recommended that field surveys should be carried out of the percentage infested rice hills towards the end of a specified generation of the borer. The sequential sampling test here proposed is carried out on the three levels of infestation adopted empirically from the rates of loss of yield with the percentage infested hills as the criterion for decision.

(2) On the basis of a consistent relation empirically verified between the percentage infested hills P and the mean number of the infested stems per hill μ , a numerical table of μ corresponding to $P(=0.01\sim 0.99)$ (Column I in Table II) was constructed anew for the first generation of the borer. Through this construction, the difference has been clarified between the case with the first generation and that with the second generation (Column II in Table II by Kono and Sugino, '58), and the quantitative relation between P and μ has been generalized still further, as a result of which the availability of the Table II has been enhanced greatly. In drawing final inductive inference of possible damages by this borer, special emphasis was placed on the effects of biological factors among various environmental resistances during the period between consecutive generations of the borer, such as the hibernating stage, the post-diapause stages, egg and larval stages arising from the first brood adults, and the adults themselves.

(3) In addition to this, the way has been opened to the feasibility of elevating the current biological forecasting work to the economic prediction which is believed to be the ideal state of forecasting system concerned.