

寒冷地における稲作害虫の発生予察と総合的管理に関する研究

城所 隆

Studies on the Forecasting and IPM-oriented Control of Rice Insect Pests in Cool Regions of Japan

Takashi Kidokoro

抄 録

宮城県で問題となる稲作害虫 5 種について、発生予察法や防除法について検討した。イネヒメハモグリバエは現在一般的な 5 月上旬から中旬の田植時期の範囲では、田植が早いほど被害が大きかった。また、例外的に遅い 6 月上旬に田植された場合も被害が大きかった。成虫の発生消長を調べると、4 月下旬と 6 月上旬に発生のピークを示したことから、5 月初めや極端に遅い移植は、成虫の 1 回目あるいは 2 回目の発生時期と一致して多発しやすいと結論した。1950 年代以降の発生面積率の増減も、成虫発生時期と田植時期の一致または不一致により説明できた。イネドロオイムシは幼虫加害時期の年次変動が大きい。それは越冬後成虫の越冬地からの離脱と水田侵入が、温量ではなく高温日の出現によって誘導されるためであることを明らかにした。また、水田飛来後の分散は温暖で風の穏やかな条件で促進された。侵入害虫・イネミズゾウムシは予想されたよりも被害が少なかったため、田植時期と関連させて被害解析を実施したところ、宮城県で一般的な 5 月上旬の田植では要防除水準 (5 %減収レベル) は株当たり約 6 個体で、同 0.5 個体程度とする西南暖地に比べ明らかに高かった。西南暖地に比べ寒冷なため成虫の活動開始は遅い反面、田植が早い宮城県では生育が進んだイネを加害するため、被害は大幅に軽減されると考えられた。また、寒冷地では越冬後成虫の水田侵入は、飛翔ではなく歩行が主となることを見だし、これを利用して育苗箱施用剤の処理苗を水田周縁部に移植するだけで、防除が可能であることを示した。イチモンジセセリの越冬幼虫は、寒冷地での生存が困難視されるが、その次世代である第 1 世代幼虫が 1990 年の 6 月から 7 月にかけて、県内の広い範囲で認められた。発育に必要な有効積算温度を遡ることによって産卵時期を推定したところ、西南暖地の発生時期と大差なかった。また、宮城県における冬季の気温と発生程度にも相関がないことから、第 1 世代幼虫の発生は温暖な地域から飛来した成虫に由来すると結論した。ツマグロヨコバイは、西南暖地ではピーク世代密度が安定しているが、東北や北陸では時に大発生が起こる。個体群動態の地域性を、全国の誘殺記録を比較することにより検討した。年間誘殺数の変動係数は、トラップが設置された緯度が高いほど大きく、本種の個体数変動はわが国の南の地域では小さく、北に向かうほど大きくなることが明らかになった。また、多発したときの個体数は宮城県が位置する北緯 38 度付近で最も高くなり、それより北上すると変動性はさらに増すものの、高密度にはならなかった。世代間増殖率の密度依存性を解析し、西南暖地では密度に依存した増殖率の低下が起こるのに対し、東北地方では密度依存性は小さく、前世代の密度がそのまま後の世代に反映されていた。以上 5 種の稲作害虫の検討結果を踏まえて、①寒冷地の発生特徴と地域性、②要防除水準設定の意義、③育苗箱施用法と減農薬防除の 3 点について詳細な考察を行った。

[キーワード] イネヒメハモグリバエ, イネドロオイムシ, イネミズゾウムシ, イチモンジセセリ, ツマグロヨコバイ, 稲作害虫, 発生予察, 地域性, 寒冷地, 総合的害虫管理

Key words : *Hydrellia griseola*, *Oulema oryzae*, *Lissorhoptrus oryzophilus*, *Parnara guttata guttata*, *Nephotettix cincticeps*, rice pest, forecasting, geographic region, cool areas, IPM

量および発生時期の予測と要防除水準の設定においてきた。こうした観点で、著者が関わりを持ち筆頭著者として何らかの報告をした稲作害虫は、ほぼ発生時期の順に、イネヒメハモグリバエ（イネミギワバエ）*Hydrellia griseola*、イネドロオイムシ（イネクビボソハムシ）、イネミズゾウムシ *Lissorhoptus oryzophilus*、コバネイナゴ *Oxya yezoensis*、イチモンジセセリ（イネツトムシ）*Parnara guttata guttata*、ツマグロヨコバイ *Nephotettix cincticeps* などがある。これらの研究を進めるにあたっては、当然他地域で得られた知見を参考にしたが、それが宮城県では通用しない事例にも多く直面することになった。そして同一種であっても、地域により発生生態は異なること、言い換えれば、それぞれの地域に立脚した発生予察法の確立が重要であることを痛感させられる場合が多かった。こうした観点で、今回取りまとめた害虫の種類と主な検討事項は以下の通りである。

イネヒメハモグリバエは長い少発状態の後に、時折、突発的な多発が起こるようになった。また、同一地域の中でも水田ごとの発生量に大きな違いがあった。こうした発生量の時空的变化の理由を、イネの移植時期の変遷や違いによって説明できないか検討した。

イネドロオイムシでは茎葉散布剤による防除は、効果の高い孵化最盛期ころとされていたが、その時期は年次変動が大きかった。水田での発生の出発点となる、越冬後成虫の越冬地から水田への移動時期とその要因を明らかにして、年次変動の原因を明らかにしようとした。また、成虫の移動時期に関連して、機械移植の普及に伴う田植の早期化が本種の発生量に与えた影響や、地域による気象条件の違いが発生量予察の難易にもたらす影響も考察した。

イネミズゾウムシは侵入害虫のため、初期の分布地域での知見が本種の害虫像として認知される傾向が強かった。しかし、寒冷地における本種の発生時期とイネの移植時期の関係から、被害の発生しやすさが西南暖地とは大きく異なるのではないかと考え検討した。また、気象条件の違いが水田への侵入様式の違いをもたらしていると考え、この生態的な特性を利用した減農薬防除の可能性について検討した。

イチモンジセセリは、寒冷地での越冬が困難とみ

られているが、生育の遅れたイネや直播栽培での多発頻度が高まっていた。宮城県で初めて確認された第一世代幼虫の発生時期や確認地点から、より南方地域からの移動可能性について検討した。

ツマグロヨコバイは、西南暖地における個体群動態の詳細な研究により、そのピーク世代密度の安定性がよく知られていた。一方、東北や北陸では、時に大発生が起こることも知られていたため、個体群動態の地理的な変異を、有害動植物発生予察事業で得られた誘殺記録を解析することにより検討した。

これらの研究結果に基づいて、寒冷地稲作害虫の発生特徴と地域性、要防除水準設定の意義、農薬による害虫防除法として最も普及した育苗箱施用法と減農薬防除について考察した。

第2章 イネヒメハモグリバエの発生量に 田植時期が及ぼす影響

2.1. 緒言

わが国で初めて、イネヒメハモグリバエ（イネミギワバエ）*Hydrellia griseola* (Fallén)（ハエ目：ミギワバエ科）のイネへの加害が確認されたのは、1933年（昭和8年）のことである⁹⁵⁾。その後、北海道や東北地方ではときおり局地的に多発する害虫として知られてきた。しかし、本種を一躍寒冷地の大害虫と認識させたのは、1954年における北海道、東北、北陸、北関東、北部近畿にまで及んだ広域的な大発生のときからである。このとき、各地で防除薬剤が払底するとともに、補植用の苗の値段が急騰したという⁹⁶⁾。

その後、しだいに発生は減少して1960年代中頃から1970年代中頃の時期は、山間地の水田などでわずかに発生を認める程度にまで減少していった。しかし、1976年に局地的な多発をみた後、1980年には広い範囲で発生して、移植後間もないイネの枯死や生育遅延が問題となった。このころ、福島県や秋田県でも多発した事例が、東北農政局主催の北海道東北地区植物防疫協議会などで報告され、再び恒常的な害虫となることが懸念された。

本種は、局地、広域を問わず、突発的に発生する傾向が強いうえに、初期の被害が目立たないこと、産卵が移植直後に一斉に行われ被害の進行が急速に

進むことなどから、加害に気づいたときには手遅れであることが多い。これまで、多発要因としては気象条件、水田内の微気象、苗質、水管理、田植時期などが指摘されてきた。多発年次に共通する気象条件を検討した桑山^{95) 96)}の解析結果は、個体群生態学の教科書に気象要因の影響が大きい個体群変動の例として、模式図とともに紹介されてもいる³⁹⁾。田植時期を重要な多発要因とする報告も多く、一般に早植えした場合に発生が多いとされるが^{7) 75) 117)}、その理由は十分には明らかになってはいない。また、田植時期が現在より1ヶ月程度遅く、育苗様式や移植されるイネのステージも異なる時代のことで、移植時期が5月上旬にまで早まってからの検討は行われていなかった。著者は、発生量を規定する最も重要な要因は田植時期ではないかと考え、同一年における異なる田植時期と発生量との関係、および田植時期の年次的な変遷と発生量との関係を検討した⁶⁹⁾。

2.2. 材料および方法

本種の被害実態を知るために、発生が多いとの情報が寄せられた宮城県内数カ所の地帯を1976年の6月15日と16日に巡回し、任意に選定した水田で25株の葉数と被害葉数を調べた。このとき聞き取り調査により、田植時期の確認できたものを解析資料に用いた。1980年には、宮城県名取市高館の県農業センター試験圃場(当時)周辺の一般農家水田の多くで多発が認められた。このため、隣接した25筆の水田において、5月27日に同様の方法により被害実態と田植時期の調査を実施した。

成虫の発生消長を知るために、1979年に名取市高館の小水路に、20cm四方の黄色木製の板にタンダルフットを塗布した黄色粘着トラップ3枚を設置し、午前9時から午後4時までには捕捉される成虫数を、ほぼ毎日調査した(調査方法の詳細は藤崎ら¹²⁾を参照)。年次別の発生面積と田植最盛期の資料は、それぞれ宮城県普通作物病害虫発生予察年報と農林水産省発行の作物統計によった。

本種とは発生時期や生態が異なる近似種コトニミギワバエ *H. tomiokai* がイネを加害することが知られているため³⁷⁾、一部の標本を農業技術研究所の福原楢男氏(当時)に同定していただいた。また、著者自

身も石崎氏より分与された標本と比較しながら検討を行ったが、いずれもコトニミギワバエとみられる個体は認められなかった。

2.3. 結果

2.3.1. 巡回調査における田植時期と被害の実態

幾つかの地帯で調査した結果から、田植時期が判明したものについて、被害葉率(=被害葉数/葉数×100)との関係を示した(図2-1)。被害葉率が10%を越えたのは14例中4事例に過ぎないが、2例が田植の早い5月上旬で2例が極端に遅い6月上旬であり、その間の田植時期では多発事例は認められなかった。

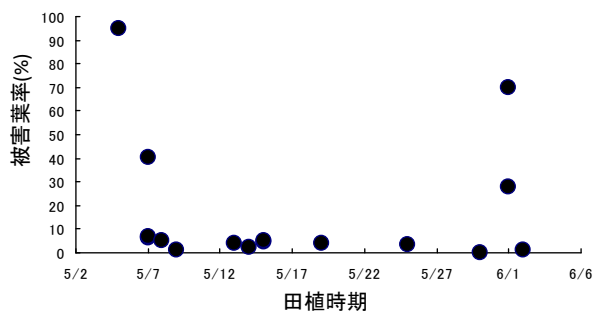


図2-1 広域調査地点における田植時期とイネヒメハモグリバエ被害の関係

2.3.2. 成虫の発生消長

図2-2に黄色粘着トラップに捕捉された成虫の発生消長を示した。単年度の結果ではあるが、成虫数は4月に多く、5月に入ると減少し6月に入って再び増加する傾向が示されている。

2.3.3. 特定地域内の田植時期と被害の関係

1980年に多発した小地域内における田植時期と被害葉率の関係を図2-3に示した。この地域では5月上旬の連休時の田植が1975年ころから普及しており、5月中旬以降の田植はほとんど行われていない。この時間的範囲内での被害程度は、明らかに田植時期が早いほど高くなっている。

2.3.4. 田植時期と発生面積の年次的推移

田植時期は年次的に大きく変化しているため、そ

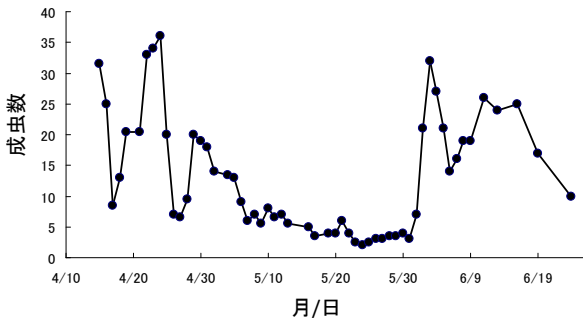


図 2-2 黄色粘着トラップに捕捉されたイネヒメハモグリバエ成虫の発生活消長
※ 1979 年日別捕捉数の 3 点移動平均値

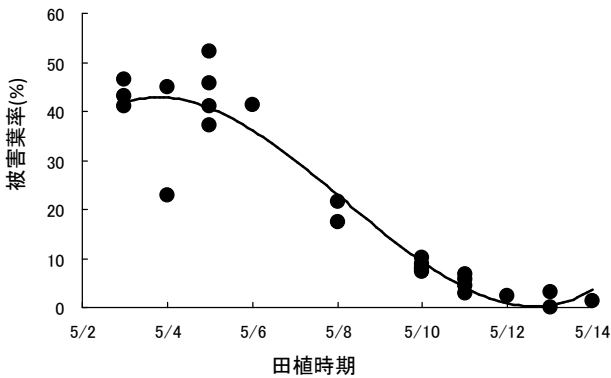


図 2-3 小地域内における田植時期とイネヒメハモグリバエ被害の関係

れが本種の発生量に影響しているかどうか検討した。水田面積も変化しているため、発生面積そのものではなく、発生面積率（＝発生面積／作付面積）を求め、田植最盛期（以下単に田植時期という）とともに図 2-4 に示した。発生面積率は、1954 年の突発的な大発生のおと、変動はあるが 1960 年までは比較的

高い値を示し、その後は徐々に減少を続け、1975 年に最低値となった。しかし、それ以降は、再び徐々に増加傾向を示した。一方、田植時期は育苗様式の変化、つまり水苗代に代わって、1955 年ころからの保温折衷苗代、やや遅れて畑苗代、さらに 1970 年ころからの機械移植に伴う箱育苗の普及などによって年ごとに早まり、5 月上旬のいわゆる連休植えが一般的となるまでに早まった。発生面積率との関係をみると、田植時期が 5 月第 4 半月ないし第 5 半月より早まった 1960 年代に入ったころから減少を始め、5

月中旬の時代に最も低くなり、さらに早期化すると再び増加に転じている。異常低温により例外的に田植が 6 月初めまで遅れた 1971 年には、これに対応するように発生面積率も一時的に増加した。

2.4. 考 察

イネヒメハモグリバエは冬季も完全に発育停止をせず、あらゆるステージでの越冬が確認されている⁴²⁾¹¹⁷⁾。しかし、宮城県ではウキガヤなどイネ科の水路雑草の葉や葉鞘に潜入した老齢幼虫や蛹で越冬することが多い¹⁴⁾。多化性で、水路では周年成虫の発生が認められるが、その前半の時期には図 2-2 に示したように 2 回の明瞭な発生時期を確認できる。その後の調査でも、第 1 回目のピークが 4 月中旬～5 月上旬で、第 2 回目は 6 月上旬～中旬であることが確認されている¹³⁾¹³⁴⁾。なお、水田内では 6 月下旬以降はほとんど認められなくなる（藤崎、私信）。

巡回調査結果から、特に被害の大きな水田は、本県としては比較的一般的な 5 月上旬と、逆に例外的に遅い 6 月上旬が田植時期の水田で認められた。先の成虫の発生活消長と比較すると、多発した水田の田植時期は、成虫の発生が多い時期と一致している。また、多発した小地域内での調査においては、極端に遅い田植は無かったが、5 月上旬から中旬の範囲では、早い田植時期で被害が多く、これもより成虫発生が多いとみられる時期と一致した。さらに、発生量の年次的な変化をみても、田植が 5 月下旬～6 月上旬と遅かった時代と 5 月上旬にまで早期化した現在での発生が多く、5 月中旬の時代には発生が少なく、これも成虫発生の季節的な消長とよく対応していた。

本種の発生量と田植時期の関係については多くの報告があり、一般に早植え水田で発生が多いことが指摘されてきた。その理由は (1) 成虫の早植田への集中飛来⁷⁵⁾と、(2) 成虫発生時期との一致²²⁾¹¹⁷⁾という 2 つの考えがあった。それらの報告は、現在よりも 1 ヶ月近く田植の遅い時代のものであったが、今回の調査結果から、さらに田植が早まるといったん発生が少なくなり、さらに早期化すると再び増加することが明らかになった⁶⁹⁾。船迫¹⁶⁾は、5 月 10 日～25 日に田植された地域で被害を調べたところ、早

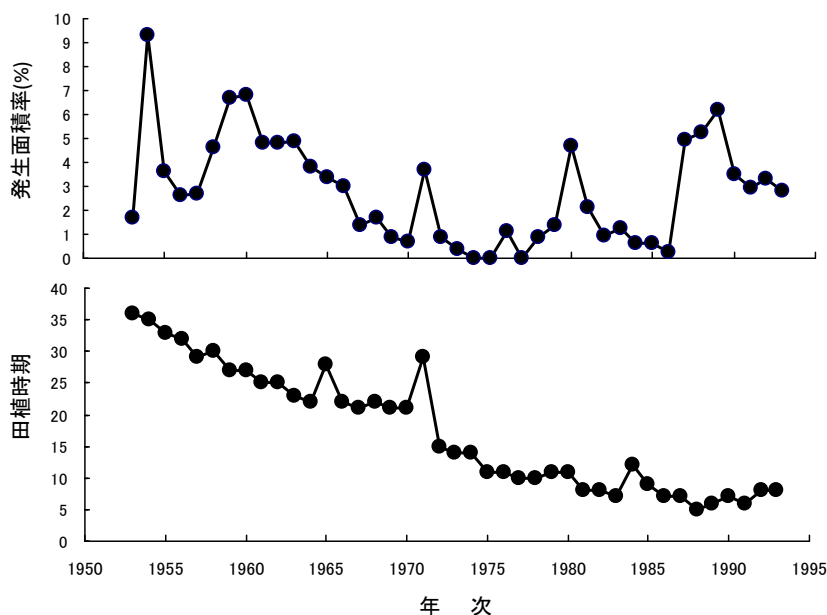


図 2 - 4 宮城県における田植時期(下)とイネヒメハモグリバエ発生面積率(上)の年次変化

※田植時期は5月1日からの日数で示す(6月1日は32)

植田よりも晩植田での多発事例の方が多く、これまでの報告と異なると述べている。この現象も、この範囲の田植時期では、むしろ晩植田の方が2回目の成虫発生時期に一致していたためと考えることで理解することができる。したがって、厳密には早植えで発生しやすいとするより、成虫の発生が多い時期に移植すると多発しやすいと表現するのが適切と考えられる。なお、宮城県では増収効果をねらって4月下旬に田植が行われる場合があるが、こうした場合にしばしば本種による大きな被害を受ける。これは、最も成虫の発生が多い時期に田植をした結果と考えることができる。また、現在では5月下旬以降の田植は一般的ではないが、基盤整備などによって

例外的に遅れる場合があり、図 2-1 で示した6月の多発事例も、こうした事情で例外的に田植時期が遅くなったものである。なお、田植時期が成虫発生時期と一致したときに多発しやすい理由は、本種の成虫が水面に垂れたり浮かんだ状態の葉に好んで産卵するため^{99) 115) 125)}、また、こうした状態のイネの葉は移植直後に発生するからである。

これまで、多発要因としては気象条件^{96) 97) 98) 117) 135)}、水田内の微気象^{22) 130)}、苗質やイネの状態^{75) 99) 115) 121) 130)}、

水管理^{7) 115)}など多くの要因が指摘されてきた。しかし、これらの要因は並列的な関係にあるのではなく、成虫の発生時期と移植直後のイネの存在(=産卵に好適な寄主の存在)という時間的一致が一義的であり、他はこれを助長する要因とみるのが適切ではないかと考える。

第3章 イネドロオイムシの成虫移動時期推定に基づく発生時期の予察

3.1. 緒言

イネドロオイムシ(イネクビボソハムシ) *Oulema oryzae* (Kuwayama) (コウチュウ目: ハムシ科)は、寒冷地稲作における代表的な害虫である。江戸時代の農書「除蝗録」にある「小金虫」は、その記述からみて本種の可能性が高いという⁹³⁾。幼虫は、排泄した糞を分泌物と混ぜ合わせて腹部背面に載せ、それが泥のようにみえることが害虫名の由来である。日本全域のほか、台湾にも分布するがいずれの地域でも成虫越冬で年に一化の生活史を維持している⁹³⁾。

生活史の概略を宮城県での平年における発生時期を例にして述べると以下の通りである。ササ類やススキなどイネ科植物の葉鞘部に潜って越冬した成虫は、5月中・下旬に水田に飛来する。越冬後成虫は

イネの葉を葉脈に沿って食害しながら約 1 ヶ月にわたって産卵を繰り返す。卵は 10 粒前後の卵塊として生まれ、孵化した幼虫は表皮を残して食害するため、多発した水田は白くみえる。イネの生育前半にのみ加害することから、イネの生育遅延と穂数の減少が主な減収要因で、新潟県における被害解析では老齢幼虫（3・4 齢幼虫）が株当たり 7 個体以上で減収が始まり、50 個体では 20 %程度の減収率となる⁸⁵⁾。老熟した幼虫は、イネの株元や葉身上に粘液で白い繭を作りその中で蛹化する。新成虫は 7 月上・中旬に出現し、しばらく葉を食害した後に、再び周辺の越夏・越冬場所へ移動してほぼ 10 ヶ月におよぶ長い休眠期間を過ごす。なお、繁殖地から越冬場所への移動と、休眠覚醒後の繁殖場所への再移動が長命な同一の成虫によっておこなわれる移動タイプは、Johnson⁴⁴⁾による分類で class IIIとされたものに相当する。

主にイネの生育前半に発生する害虫を、苗代害虫との対比で本田初期害虫という呼び方が最近まで慣例化していた。イネハモグリバエ *Agromyza oryzae*、イネゾウムシ *Echinocnemus bipunctatus*、そしてイネドロオウムシがその代表である。これらは、1970 年代の稚苗機械移植の普及に伴って多発するようになったとされるが^{43) 83)}、その後、前 2 種は確認することすらできない地域が多くなっていったのに対し、イネドロオウムシだけは相変わらず主要害虫と見なされている地域が多い。また、本種は、有機塩素系の BHC を始めとして、カーバメート系、有機リン系などの薬剤に繰り返し抵抗性を発達させてきたが⁶⁰⁾、現在主流となっているフェニルピラゾール系やネオニコチノイド系などの長期残効性育苗箱施用剤に対しても、抵抗性の発達が問題となっている¹⁴⁰⁾。

ここでは、本種の発生時期と発生量の予察に関連して、成虫の越冬地から繁殖地である水田への移動時期とその後の分散について検討した結果⁵³⁾を中心に報告する。

3.2. 材料および方法

3.2.1. 越冬地から水田への移動時期

成虫の越冬地から水田への移動時期を、越冬地とみられる笹藪に隣接した水田で未成熟雌の個体数変

化を調べることにより推定した。調査は 1977 年から 1980 年にかけて、名取市高館の丘陵地の同一水田から、毎日あるいは数日間隔で約 60 個体の成虫を採集し、実体顕微鏡下で解剖して性比（♀/♀+♂）と、雌の場合はその卵巣の発達段階を調べた。1979 年には、同一地点において午後 2 時から 3 時にかけて 100 株～300 株の成虫個体数を調べた。

卵巣については以下の発育段階を区別した（図 3-1）。ステージ 1：卵巣全体が白く小さく未発達である、ステージ 2：卵巣小管の下部が少し膨らみ黄色部が認められる、ステージ 3：大きな卵が認められるが卵殻はまだ柔らかく完成した卵は認められない、ステージ 4：卵巣に完成された卵が認められる、ステージ 5：卵巣に退化の兆候が認められる。なお、1977 年と 1978 年はステージ 1 と 2 を区別しなかった。

ステージ 1 から 2, 3, 4 へと進む日数は、越冬場所から這い出したばかりの雌個体を採集して室温および自然日長下でイネ苗を与えて飼育した場合、それぞれ 1 日、2 日、2～3 日であった。ただし、一部の成虫は休眠性を維持し、10 日経過しても卵巣に変化が認められなかった。

3.2.2. 移動後の分散

成虫の移動・分散の過程を知るために、越冬場所から様々な距離のイネにおける個体数の変化を 1977 年に調べた。また、分散活動に他個体（特に異性）の存在と気象要因が与える影響を知るための試験を 1978 年に行った。本種の発生が少ない試験場内の水田に、イネ 32 株を田面からほぼ高さ 20 cmのエスロン板で正方形に囲ったコドラート（14.5 m²、上部は開放）を、相互に約 20m 離して 3 区設けた。その中に雌だけを 60 個体、雄だけを 60 個体、雌雄 30 個体ずつ計 60 個体を 5 月 31 日に放飼し、その後のコドラート内に残存する個体数の変化を毎日午前 9 時と午後 3 時に調べた。同様の放飼試験を、同年の 6 月 14 日にも実施した。気象データは、調査地点から約 10 km北方向に位置する、仙台管区気象台の観測値を用いた。

3.3. 結果

3.3.1. 越冬地から水田への移動時期

1979年における異なる卵巣発育ステージの雌割合の推移を図3-2に示した。5月21日の最初のサンプルでは、全ての雌が完全な未成熟個体（ステージ1）だけで占められていた。その後、卵巣発育は急速に進み、成熟卵を有する雌（ステージ4）は2日後の5月23日には認められ、6月初めまでにはほとんどの個体が成熟卵をもつ個体で占められるようになった。卵巣の退化したステージ5の個体は6月中旬から増え始め、それと同時に産卵可能なステージ4の割合は急速に低下した。6月25日ころからは再び未成熟雌の割合が急増したが、これは新成虫が羽化してきたことによっている。

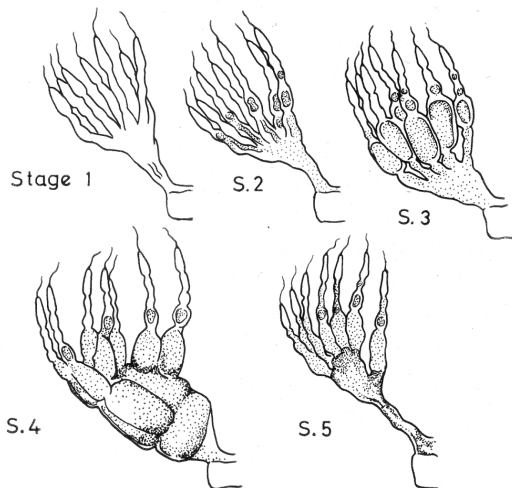


図3-1 イネドロオイムシの卵巣発育ステージ
※説明は本文を参照

越冬後成虫の越冬地から水田への移動は、ステージ1の未成熟雌が5月21日から6月6日まで認められたことから、少なくともほぼ半月にわたって続いたといえる。しかし、その割合は図3-2にみられるように鋸歯状の不規則な日変化を示した。この移動活動の日変動を明らかにするため、全成虫密度に性比と未成熟雌（ステージ1）の割合をかけることにより未成熟雌密度を求め、その日変化を調べた（図3-3）。未成熟雌密度は5月22日と5月28日に2回の顕著なピークを示した。このことから、1979年には、越冬地から水田へ2回の大量移動があったことが分かる。性比が0.5から大きく偏ることはなかったため、雄は雌と同時に移動するものとみられる。

イネドロオイムシの越冬後成虫が「快晴無風の好天」のときに越冬地からの移動を行うという観察が報告されている³¹⁾。著者も越冬後成虫のササ類葉鞘部からの這い出しと飛翔が、風の弱い高温日に起こることを観察していた。そのため図3-3下には日最高気温の推移も示したが、5月22日と5月28日は明らかに気温が上昇し、最高気温が25℃を超えた日であった。それ以外の日でも、20℃以上の日には未成熟雌が認められることから、およその目安として最高気温が20℃を超えるような日に移動が起こり、さらに25℃を超えるような、この時期としては初夏を思わせるような日に大量の移動が起こるものとみられる。

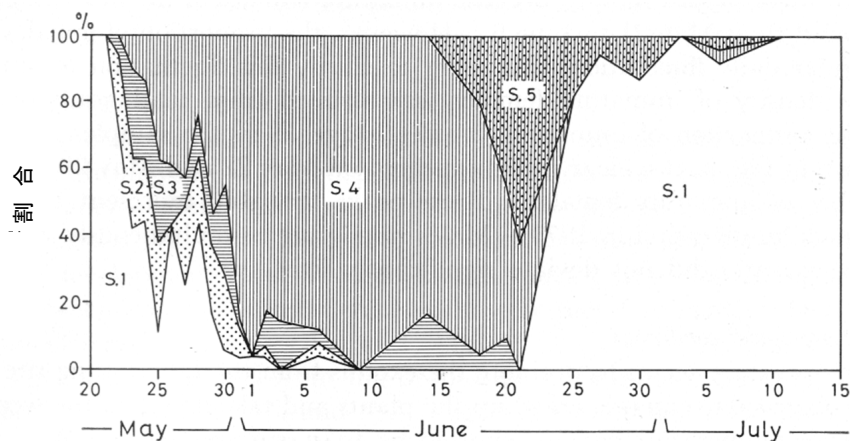


図3-2 イネドロオイムシの卵巣発育ステージ割合の経時的変化

なお、越冬地から這い出したり水田に移動直後の時期に気温がかなり低下した場合、一部の個体が再びイネ科植物の葉鞘部やイネの未展開葉の隙間に潜入する行動が観察された。これは先に述べた、越冬場所を這い出した個体の一部が飼育下で卵巣を発達させなかった現象とともに、移動直後には休眠性に関してある程度は可逆的変化が可能であることをうかがわせる。

3.3.2. 移動時期の年次変動

気温の上昇が移動の引き金になるという以上の解析結果から、気温変化の年次変動に伴う移動時期の変動が当然予想される。1977年と1978年は、水田での密度調査を解剖用のサンプリングと必ずしも同時に実施しなかったため、未成熟雌密度の変化を求めることはできなかった。また、卵巣ステージ1と2の区別も行わなかった。このため、移動時期の年次変動については、ステージ1と2を込みにした未成熟雌率の変化により検討した(図3-4)。

未成熟雌率は、1980年と1979年が1978年と1977

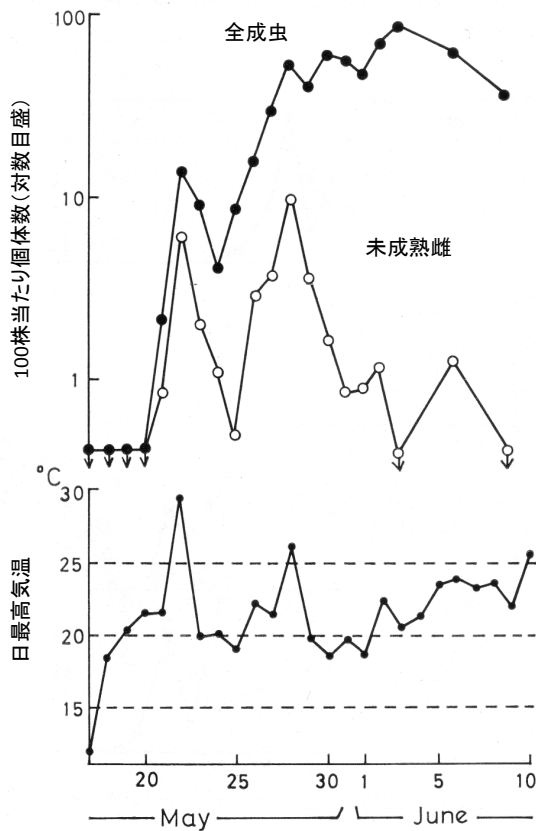


図3-3 越冬地に隣接した水田におけるイネドロオイムシ成虫(♀+♂)の密度と未成熟雌密度の経時的変化

年に比べて早く低下していることから、これらの年次は越冬地から繁殖地への移動がより早く起こったと考えられる。日最高気温が25°Cを超えた日を見ると、1980年は5月21日、24日、25日で、1979年は5月22日と28日であった。一方、1978年は、5月の27日まで日最高気温が25°Cを超えることはなかった。1977年はさらに高温日の出現時期が遅れ、25°Cを超えたのは6月3日になってからであった。こうした違いは、未成熟雌率の変化、すなわち移動時期の年次変動をうまく説明できる。また、1980年と1977年には、1979年以上に未成熟率の極めて大きな変動が認められる。これはある時期に水田への移動があった後、2回目の未成熟雌率のピークまで低温による移動の抑制があったことをうかがわせる。実際、100株当たり成虫数が1980年は5月20日の1.3個体から5月22日の20.3個体に、1977年は5月31日の6.3個体から6月3日の23.1個体へと急増したが、この間の期間は最高気温が20°Cに達しない日が継続していた。

3.3.3. 移動後の分散

水田地帯の中に、越冬に好適と思われる孤立した竹藪のある場所とその周辺の水田で、移動・分散の実態を調査した。1977年には、前述したように6月3

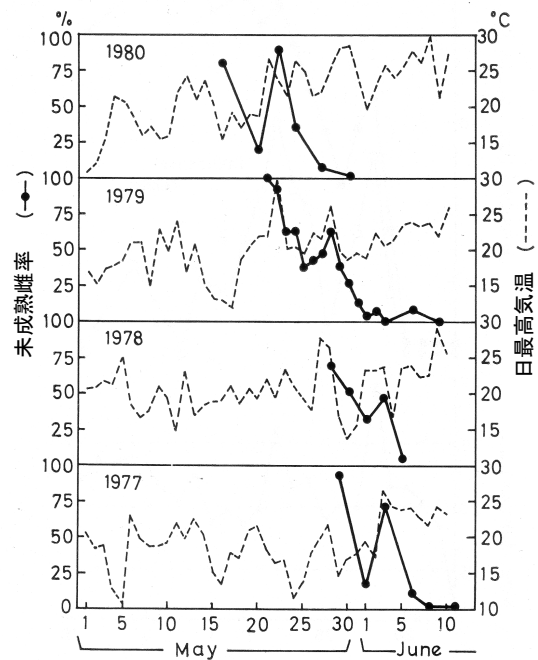


図3-4 未成熟雌(ステージ1と2)の割合の季節的変化と最高気温の推移の年次変動

日に水田への大量移動が起こったとみられるが、それから7月中旬まで竹藪からの距離別に成虫と卵密度の変化を示した(図3-5)。

成虫は6月3日には、竹藪から数m以内の極端に越冬地に隣接した部分に集中して分布していた。これは少なくとも寄主が存在する条件では、越冬後成虫はあまり遠くへ移動しないことを示している。実際、竹藪から飛び立った成虫が、次々と直ぐ下に植えられたイネに舞い降りることも観察している。その後、越冬地から調査したほぼ60m地点までの密度は、しだいに大きな違いが解消され、より周辺部へと分散していったことがわかる。これを反映して、産卵数は初期には越冬場所近くに集中する傾向が強く、時間の経過とともにより遠距離のイネでの産卵も増加していった。それでも、産卵最盛期を過ぎた6月17日においても、越冬地から離れるほど少ないという密度勾配が認められることが注目される。

越冬地に最も近接した1m地点と、調査した範囲で最も遠い58m地点における成虫と卵密度の季節的变化を、最大値を100とした換算値にして図3-6に示した。成虫の最高密度は、1m地点では大量移動が起こった6月3日であるが、58m地点では6月11日と遅くなった。卵密度はほとんど違いがなかったが、初期の増加が越冬場所に近いと早かった。以上

を反映して、新成虫の出現は越冬地の近接地点で早くなった。このように、本種では越冬地からの距離によって、各発育ステージの出現時期が微妙に異なることも、発生時期の予察と関連して注目される現象である。

3.3.4. 分散活動に関係する要因

分散活動に他個体(特に異性)の存在と気象要因が与える影響を知るための試験結果を、気象条件(気温と風速)とともに図3-7に示した。

5月31日に雄だけを放飼した場合、コドラート内に残存する個体数は他に比べて急速に減少した。雌が不在であることから、この減少すなわち他への分散は雌を探索する行動に関連したものと推定できる。この点、雌は配偶行動に関して受動的立場らしく、雌雄同数を放飼した場合と減少傾向はほとんど同じであった。

5月31日に放飼した場合、大きく減少しているのは午前9時から午後3時の間で、午後3時から翌日午前9時までの変化は小さかった。このことは、おおまかにいって分散が盛んなのは日中であって、夜間は少ないということができる。しかし、気温が高くなった6月14日の放飼では、午前9時前にも個体数が大きく減少しており、気温が分散を促進する大きな要因であることがわかる。

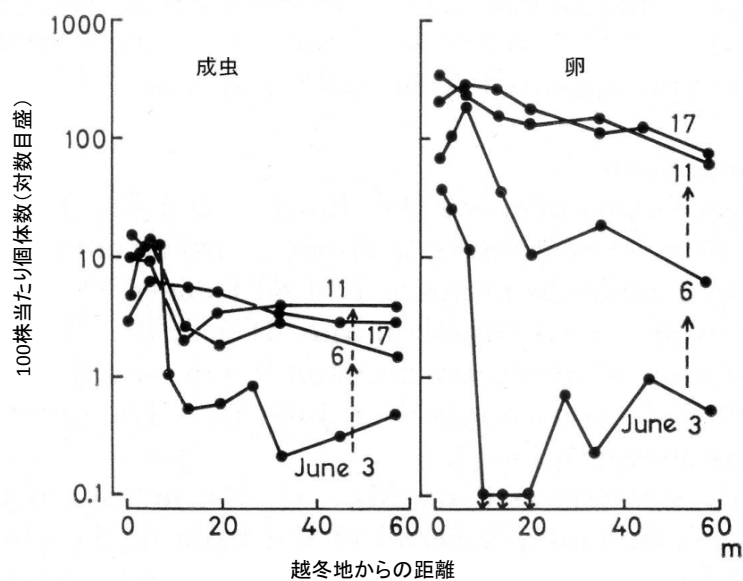


図3-5 越冬地からの距離と100株当たり成虫および卵密度の推移

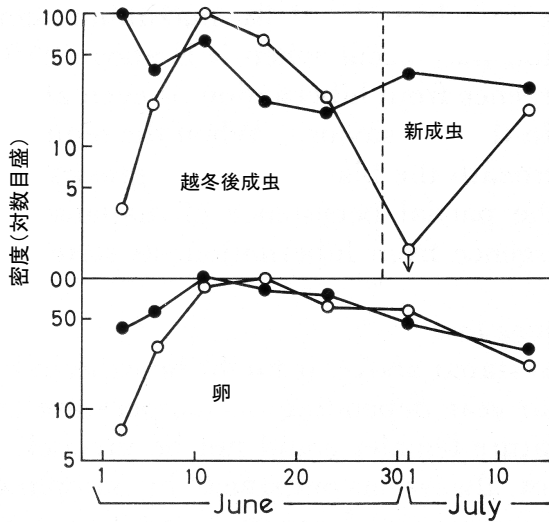


図 3-6 越冬地から 1m (黒丸) と地点における成虫と卵の発生消長
 ※比較のため密度は最高値を 100 とした換算値で示した.

風速も分散活動に関与することが考えられた。5月31日に放飼した翌日は、たまたま日中に強い風が吹く気象条件となった。このときには、午前9時から午後3時の間であっても、残留個体数に大きな変化はなかった。以上の結果は、温暖で風が弱い日中に成虫の飛翔が盛んで、逆に、気温が低く風が強い日の日中や夜間では、温暖で風が弱くともほとんど飛翔しないというこれまでの観察とも一致した。

3.4. 考 察

イネドロオイムシの越冬地からの移動時期を、越冬地に隣接した水田における密度の変化を調べることにより量的に評価した。しかし、単なる密度増加を移動の指標にすると、移動後の分散による増減の影響を受ける。Kiritani⁷⁶⁾は、ミナミアオカメムシ *Nezara viridula* で雌の卵巣発育が生活史の解析に有効であることを示した。イネドロオイムシも、繁殖地である水田に飛来してイネを摂食すると急速に卵巣が発達することから、解剖により卵巣の未発達な個体を区別することにより、水田に飛来して間もない個体だけを量的に把握することができた。

未成熟雌密度、すなわち越冬地から水田へ移動直後の雌密度は、日最高気温の変化に伴って顕著な変

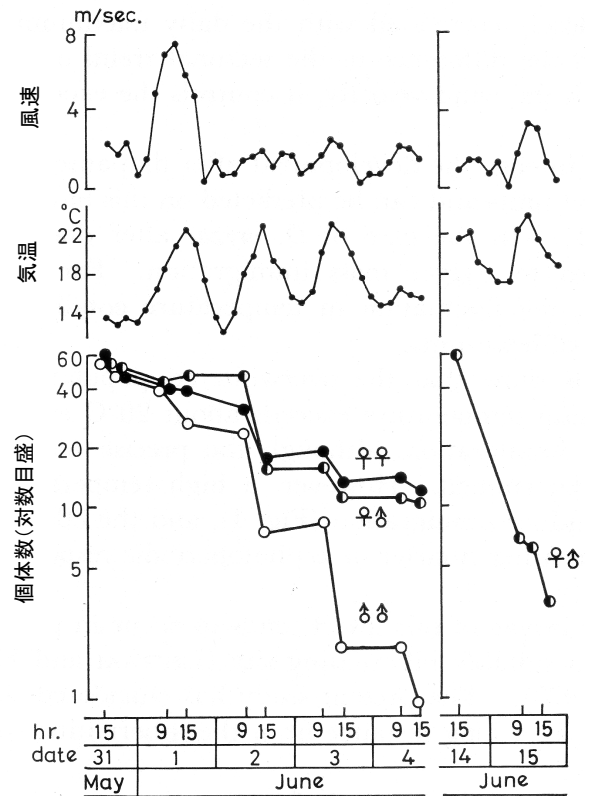


図 3-7 5月31日(左)と6月14日(右)に放飼した越冬後成虫の個体数変化と気温および風速の推移

※成虫は、雌だけ(黒丸)、雄だけ(白丸)、雌雄同数(半黒丸)にして放飼した。風速は10分間の平均値。

動をした。つまり、5月に入って出現する最高気温が20℃を超えるような日に、越冬地からの離脱と移動が始まり、25℃を超えるような日には大量の移動がおこった。こうした高温日の出現には、当然のことながら年次変動がみられるが、調査した4年間における未成熟雌密度出現の早晩や増減も、高温日の年次変動によりよく説明できることが分かった。この調査以降のことであるが、通常の幼虫発生時期に比べると極端に遅い7月下旬や8月初旬に本種の幼虫がイネを加害していることが何回か観察され、関係者から2化しているのではないかと疑われたことがある。しかし、こうした年次の高温日の出現状況を調べてみると、5月～6月にかけて異常低温ともいえる日が続き、顕著な高温日はもとより最高気温が20℃以上となる日もあまり出現していなかった。もし内因性の休眠をしない突然変異が起こったとし

でも、幼虫が出現するためには配偶可能な範囲で雌雄が同時に変異しなければならないことや、夏季に幼虫が出現する現象は同時に複数地点で認められていることなどを考えると、高温という移動の引き金が十分に働かなかった年次に、一部の成虫の移動と繁殖が極端に遅れたためと考えるのが適当と思う。

ところで、逆に通常よりも早く高温日が出現した場合にはどうなるであろうか。実は、図 3-4 にみられるように、5月上旬であっても最高気温が 20℃程度を超える日はよくあり、25℃を超える年次もたまに出現する。しかし、このようなときに移動個体が観察されることは皆無ではないがあまり多くない。したがって、越冬場所では気温が十分に上昇しないといった微気象的な違い、あるいは日長などによって休眠覚醒がある時期まで抑制されている可能性などが考えられる。

昆虫では、休眠覚醒後の発育が有効積算温度の法則に従って進むことを利用して、発生時期を予測することが行われている。例えば、水稻害虫ではツマグロヨコバイ²⁷⁾やイネミズゾウムシ¹⁰¹⁾などがある。植物防疫法に基づいて都道府県が実施している有害動物発生予察事業では、農作物の有害生物の発生時期と発生量を予測することを主な目的とした調査が病害虫防除所や農業試験場によって実施されているが、発生時期の予測をする場合の最も基本的な手法は、有効積算温度の法則に依っている⁶³⁾。西南暖地のイネミズゾウムシは、退化していた飛翔筋が有効積算温度の法則に従って発達し、飛翔が可能になると水田への侵入が起こるとされる¹⁰¹⁾。しかし、イネドロオイムシ水田侵入時期の予測には、有効温度の積算値ではなく高温出現日の予測が重要である。そして成虫の水田侵入後には、防除要否の判断に必要な産卵最盛期や茎葉散布剤による防除適期とされる孵化最盛期を予測するのに、有効積算温度の法則を適用するという二段階の考え方をするのが適切と考える。また、個々の水田においては、越冬場所に近い水田では発生が早く、遠い場合には遅くなるという補正要因も考慮するとより正確な予測が可能となる。

次に、本種の移動距離と移動時期に関して、稲作以前の生息環境を含めて考察してみたい。イネドロオイムシの被害が大きいのは、越冬に適したササ類

やススキなどが多い里山の水田や、人家の生け垣、土手などに隣接した水田であることはよく知られている³⁸⁾¹²⁷⁾。宙吊り飛翔法で移動能力を調べてみると、水田に飛来してしばらく経過した成虫は断続的な飛翔しかしなが、越冬地から這い出したばかりの成虫は5分程度連続的に飛翔する個体が多く認められる(城所、未発表)。したがって、移動時期の成虫はある程度遠距離まで飛翔できる潜在能力があると考えられるが、実際には、越冬地付近に寄主があれば、成虫はすぐにそこに降り立つことが明らかになった。

本種の幼虫の野生寄主として、マコモ *Zizania latifolia*、エゾノサヤヌカグサ *Leersia oryzoides*、サヤヌカグサ *L. oryzoides* var. *sayanuka*、ドジョウツナギ *Glyceria ishyroneura* の4種が知られている⁹⁴⁾。これらは全て水路や水田の雑草として知られる多年性の湿生植物である。人工的な場所を除くと、これらの植物が見られる場所は、沼や小さな流れの縁など日当たりが良く大きな攪乱のない沼沢地と呼ばれる場所である¹¹⁴⁾。したがって、イネが栽培される以前のイネドロオイムシの生息地は、そうした比較的安定した水辺であったと思われる。湿度が低いと幼虫死亡率が高まることも⁶⁾、水に縁の深い生息環境を想起させる。

一方、成虫の越夏・越冬場所が調べられた報告は少ないが、宮城県で比較的詳しく調べられた結果では、最も多く観察されたのはアズマネザサ *Pleioblastus chino*、クマザサ *Sasa veitchii* などイネ科のササ類の葉鞘と茎の隙間で、さらにススキ *Miscanthus sinensis*、チガヤ *Imperata cylindrica*、アシ *Phragmites communis* など草本のイネ科植物の葉鞘と茎の隙間、イネ科以外では枯れたギシギシ *Rumex japonicus*、ゼンマイ *Osmunda japonica* の茎内や枯葉内が挙げられている⁴¹⁾。著者はしめ縄の中で越冬している個体や、実験的には乾燥してひび割れた土壌の隙間にも潜入して越冬することを観察しているので、乾燥した隙間という物理的条件を満たすことが越冬場所として重要と考えている。野外でこうした条件をよく満たすのが、イネ科植物の葉鞘と茎の隙間であると思うが、いずれにせよ、先にあげた実際に越冬が確認された植物の多くは、寄主植物に比べて乾いた土壌環境に生育する。しかし、沼沢地の周辺には土壌湿度の勾配に沿った植物群落の湿性遷移

¹³¹⁾がみられるため、イネドロオイムシはごく近距離の移動によって、繁殖のための水辺の寄主と越冬に適したより乾燥地を好む植物をともに利用できたのではないだろうか。また、人間による開拓以前の沼沢地を考えると、周囲は森林に囲まれていたと考えられる。そうした生息地からの脱出は、むしろ好適な繁殖地を継続的に利用できる機会を失うリスクが大きく、遠距離移動を制限する習性の発達を促した可能性も考えられる。いずれにしても、移動範囲が狭いことが本種の特徴の一つであり、それが抵抗性遺伝子を「濃縮」しやすくし、年に1化と世代交代が少ないにも関わらず本種が薬剤抵抗性の発達を繰り返す原因となっている可能性が高い。

最後に、越冬後成虫の移動時期と水田での発生量の関係について考察する。幼虫の野生寄主が萌芽するのは東北地方では4月下旬から5月上旬である¹⁴⁴⁾

(城所、未発表)。したがって、1980年に実際みられたように、移動がたとえ5月中旬に起こったとしても、成虫は野生の寄主であれば利用することができる。一方、稲作の開始は本種にとって広大な繁殖場所を提供することになったが、1950年代以前には、田植は6月初旬以降に行われ、5月中旬に越冬場所を離脱した成虫が利用できるのは、せいぜいパッチ状に偏在する苗代のイネだけであった。これは近距離移動者であった本種にとってはイネを不十分にしか利用できないことを意味する。

このようなイネドロオイムシにとっての田植時期と移動時期のギャップは、田植の早期化によってしだいに解消されるようになった。特に、1970年代に入って急速に普及した稚苗を田植機械で移植する方式は、田植時期を大幅に前進させ、東北や北陸地方でも5月上旬～中旬の田植が一般的となった。これは、イネドロオイムシの成虫が活動を開始した時期に、越冬地の周辺に寄主が広く存在する状況が生まれたとみることができる。1970年前後から始まった本種の増加傾向については、気象条件、天敵、除草作業、薬剤抵抗性の発達などとの関連も指摘されたが⁴³⁾、なによりも移動時期と寄主出現時期の一致が最大の理由と考えられる。

第4章 イネミズゾウムシの寒冷地における要防除水準と効率的防除法

4.1. 緒言

イネミズゾウムシ *Lissorhoptus oryzophilus* (Kuschel) (コウチュウ目：イネゾウムシ科)は、1976年に愛知県で初めて発生が確認された北アメリカからの侵入害虫である¹³⁸⁾。その後、1989年までにはわが国の全ての都道府県に分布を拡大した。宮城県では1982年に初めて確認され、1985年には全県的に発生を認めるに至った。

イネミズゾウムシは成虫で越冬し、移植後のイネを食害しながら葉鞘に産卵する。孵化した幼虫は、水中を落下し土中に潜って根を食害する。イネミズゾウムシによる被害については、初期の分布地域である愛知県や岐阜県を中心に詳細な検討が行われ、以下のような点が明らかになっていた。同地域で一般的な早植栽培では、田植は5月中・下旬に行われるが、これに先だつ4月中旬ころからイネミズゾウムシ越冬後成虫の活動が開始され、成虫は越冬場所周辺のイネ科植物などを摂食して飛翔筋を発達させる^{49) 113)}。その後、田植が行われると直ちに越冬後成虫の侵入が開始される。気温の低い初期には歩行侵入のため畦畔際に多い傾向も認められるが、気温の上昇とともに飛翔侵入が主となり、発生盛期には畦畔からの距離に関係なくほぼ一定密度となり、ランダムに近い弱い集中分布を示す⁴⁸⁾。被害は主に幼虫による根の食害によりもたらされる¹⁴¹⁾。

要防除密度については、愛知、岐阜、長野の諸県ではほぼ同時期の5月第4半旬か第5半旬に移植したイネに、その直後に成虫を放飼する網柵試験により検討された。その結果、5%減収をもたらす成虫密度はほぼ0.5個体/株という数値が得られた。この値はその後各種の対策資料に引用されるとともに、本種の教科書ともいえる出版物にも掲載されたことから¹⁴²⁾、標準的な要防除水準として広く認知されることになった。

一方、宮城県では今述べた要防除水準が、病害虫防除所などを通じて市町村、農協などに技術資料として提供されたが、当初は温量の少ない東北地方ではイネの補償作用が働きにくいいため、より被害がしやすいのではないかと危惧する声が聞かれた。しか

し、県内に本種が広く定着するところになると、生育遅延や欠株の発生などの典型的な被害がほとんど認められなかったことから、むしろイネミズゾウムシによる深刻な被害を疑問視する関係者が多くなっていった。稀に顕著な被害を認めた事例もあったが¹⁵⁾、それは5月初旬の連休田植が一般的な宮城県としては、例外的に遅い5月20日に移植された場合であった。こうしたことから、農協の営農指導員など現場指導に当たる関係者からは、要防除水準の再検討を要望されるようになった。幸い著者は1992年に研究機関に異動したことから、さっそく移植時期との関連で被害解析を実施することにした。また、それ以前の観察で宮城県では西南暖地と異なり、畦畔沿いイネへの集中傾向が発生終期まで維持されると考えられたことから、これを確認するとともに、飛翔ではなく歩行による水田侵入を想定し、水田周縁部に限定した薬剤防除の有効性について検討した。

4.2. 材料および方法

4.2.1. 要防除水準の設定

試験は1992年から1996年の5年間実施した。いずれの年次も、水田内に、縦、横、高さが1×1×1.5mの寒冷紗で覆った野外ケージを設置し、この中に5月第2半旬、5月第4半旬、5月第6半旬の三つの時期にササニシキ稚苗を4本ずつ21株(3列×7株で畝間30cm、株間15cm)を手植えした(表4-1)。これらのケージ内に、宮城県の平年の水田侵入時期に相当する5月30日または31日に、野外から捕らえたイネミズゾウムシの越冬後成虫を密度を変えて放飼した。5月上旬植えでは株当たり成虫数で0.5個体(ケージ当たり11個体)、1個体、2個体、4個体、8個体を放飼したが、より被害が発生しやすいと考えた5月中旬植えと5月下旬植えでは、年次によっては8個体を止めて代わりに株当たり0.25個体(ケージ当たり5個体)の区を設けた。いずれの密度区も2反復を原則としたが、年次と田植時期によっては一部の密度区を設定しない場合もあった。肥培管理は慣行に従い、それぞれの年次の収穫適期にイネを収穫し、玄米の収量を調べた。なお1993年は、一般に作付けされたイネにおいて、幼穂形成期から減数分裂期が異常低温に遭遇したため障害不稔が多発し、

典型的な冷害年(障害不稔型冷害)となった。今回の試験においても、移植時期により障害不稔の発生程度は異なるが、その影響が大きいいため、他の年次とは区別して検討した。

表4-1 イネミズゾウムシの被害解析試験の田植時期と放飼時期

| 年次 | 田植時期 | 放飼時期 |
|------|----------------|-------|
| 1992 | 5月8日, 20日, 29日 | 5月30日 |
| 1993 | 5月7日, 17日, 28日 | 5月31日 |
| 1994 | 5月6日, 17日, 27日 | 5月31日 |
| 1995 | 5月8日, 18日, 29日 | 5月30日 |
| 1996 | 5月8日, —, 29日 | 5月31日 |

注:1993年は異常低温による障害不稔が多発した

4.2.2. 水田内での成虫発生の偏り

イネミズゾウムシの被害が畦畔沿いに発生しやすいことを確認するための調査を、1989年に実施した。病虫害防除所の巡回調査地点で、著者が所属するチームが担当する水田から5圃場を選定し、水田内における越冬後成虫の発生初期からほぼ終期に当たる、5月23日、6月1日、5日、16日、21日の5回、畦畔際と水田中央部のイネで、葉数と成虫による被害葉数(食害痕の認められた葉数)を25株について調べ、被害葉数を葉数で除することにより被害葉率を求めた。調査した畦畔際のイネは畦畔から1.2m(ほぼ畦畔から4畝目に相当)としたが、水田中央部については水田の大きさが異なるため、距離も異なっている。調査地点名と地点別の畦畔から中央部までの距離(主な越冬場所とみられる広い畦畔側から測定)を列記すると、角田市東根;27m、角田市枝野;25m、丸森町金山;45m;白石市大鷹沢1;35m、白石市大鷹沢2;19mであった。このうち、角田市東根の調査圃場では、成虫最盛期を過ぎた6月11日にPHC粒剤5%が水面施用されたが、他は無防除であった。なお、成虫数の調査も被害葉の調査と同時に行っているが、様々な条件で水面下に潜る個体が多くなり正確な調査が困難なるため⁵⁷⁾、ここでの検討には利用しなかった。

4.2.3. 水田周縁部防除の有効性

寒冷地では水田への侵入は、飛翔よりも歩行によるものが主流とみられたため、水田の周縁部だけに薬剤を育苗箱処理した苗を移植することで、被害が

防止できないか検討した。1990年に一般農家の隣接した2筆の圃場を用い、一方の圃場にはベンフラカルブを育苗箱当たり50g処理した稚苗を畦畔沿いの6畝(幅1.8m)だけに移植し、それ以外は無処理の苗を移植した。対照区とした隣接圃場は、水田全てに無処理の苗だけを移植した。いずれも機械移植で、移植日は5月7日である。その後、主な越冬場所と考えられる農道側の畦畔から水田の中心部(畦畔から約25m)に向かって、ほぼ1.5mごとに10株ずつ、

成虫による食害痕の発生を調べ、前項と同様にして被害葉率を求めた。調査日は5月18日、25日、6月1日、8日、21日の5回で、この年の成虫の水田侵入初期から、発生終期にほぼ相当している。

4.3. 結果

4.3.1. 要防除水準の設定

図4-1に、障害不稔が多発した1993年の結果を除外した4年間の田植時期別の株当たりイネミズゾウ

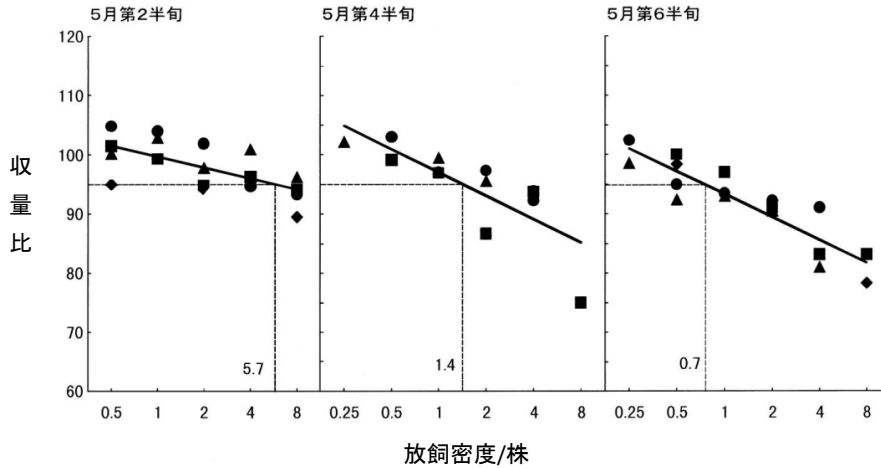


図4-1 田植時期別のイネミズゾウムシ越冬後成虫放飼密度と収量比の関係

※異なるマーカーは試験年次が異なることを示す。

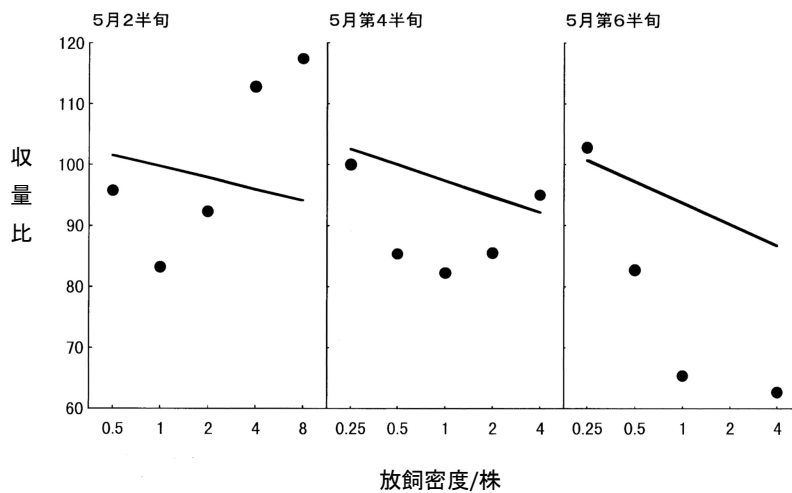


図4-2 障害不稔多発年次(1993)における田植時期別のイネミズゾウムシ越冬後成虫放飼密度と収量比の関係

※図中の直線は他の4年間の結果から得られた直線回帰線。

ムシ放飼成虫数（対数目盛： X ）と、収量比（無処理を100としたときの収量： Y ）の関係を示した。

両者の関係を直線回帰式で近似したところ、

$$5\text{月第2半旬移植で、} Y = -6.22\log X + 99.7 \quad (r^2=0.43)$$

$$5\text{月第4半旬移植で、} Y = -13.07\log X + 97.0 \quad (r^2=0.64)$$

5月第6半旬移植で、 $Y = -12.83\log X + 93.4 \quad (r^2=0.75)$ が得られた。一般に被害許容レベルとされる収量比で95（減収率5%）となるときの成虫数を要防除水準として求めると、5月第2半旬移植で5.7、5月第4半旬移植で1.4、5月第6半旬移植で0.7となり（図4-1）、宮城県で一般的な5月上旬の移植時期では高い値となり、移植時期が遅くなるほど低い値となった。

障害不稔が多発した1993年の結果を、他の年次に得られた直線回帰線とともに図4-2に示した。5月第2半旬と5月第4半旬の田植では、放飼密度が高いとかえって収量が高まる傾向が認められた。また、5月第6半旬では、放飼密度が高まると通常の年次に比べて、減収の程度が著しかった。

4.3.2. 水田内での成虫発生の偏り

5つの圃場における、畦畔近くの畝と水田中央部の畝における成虫の被害葉率の推移を図4-3に示した。圃場によって被害葉率の高低はあるが、いずれの圃場でも発生期間を通して畦畔近くの被害葉率が高く、水田中央部で低く推移したことから、宮城県では成虫の分布は最後まで水田周縁部に偏っていることが示された。

4.3.3. 水田周縁部防除の有効性

畦畔際から水田中央部への距離別にみた被害葉率の季節的推移を図4-4に示した。まず無防除水田をみると、越冬後成虫の水田侵入初期に当たる5月18日には、ほとんどの被害葉は畦畔から4～5mの部分に集中している。その後5月25日にはより水田中央部でも被害葉が発生しているが、畦畔から離れるに連れて減少する傾向が認められる。さらに6月1日には、やはり畦畔に近いところで被害葉の発生が多いものの、7mから水田中央部である22m付近まで15%程度の被害葉が認められ、より水田内部へ成虫の生息範囲が拡大したことが示されている。しか

し、その後は成虫密度も減少する時期となり、6月8日には畦畔近くでも被害葉率は低下し始め、6月21日にはいずれの地点でも発生率はわずかになった。

一方、畦畔沿いの6条だけ育苗箱処理剤を散布して移植した隣接水田では、越冬後成虫の水田侵入初期から終期まで、水田のどの部分でもほとんど被害葉が発生しなかった。

以上のことから、畦畔から水田内に侵入した越冬後成虫は、水田の周縁部に移植された薬剤処理されたイネを摂食して死亡するために、被害は水田の内部には及ばないことが示された。

4.4. 考 察

4.4.1. 要防除水準の設定

イネミズゾウムシは1976年の初発見後、2年間は愛知県のみ、3年目に近隣の三重、岐阜、静岡、4年目に滋賀、5年目に福井、奈良、長野、大阪、京都、6年目が兵庫、和歌山というように、1981年までは侵入地を中心に同心円的に分布拡大していく傾向が続いた。本種が稲作に与える影響については当然のことながら大きな関心が払われたが、初期の研究も愛知県を中心にその近隣の諸県で実施されることになった。

愛知県では網枠内に移植したイネに越冬後成虫を放飼する方法による被害解析が実施され、以下のような結果が得られた¹⁴⁰⁾。当地で一般的な栽培様式である5月の第4半旬または第5半旬（5月18日～23

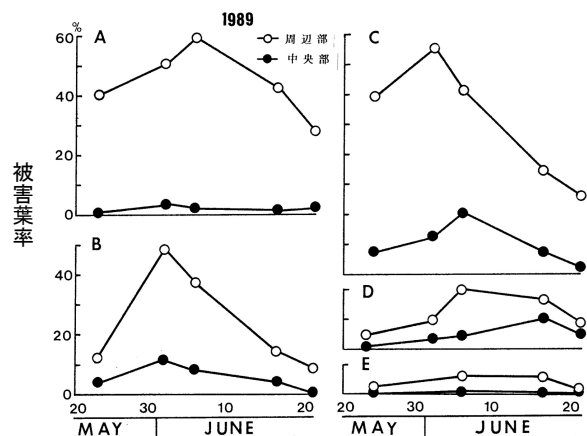


図4-3 水田周辺部と中央部におけるイネミズゾウムシ越冬後成虫による被害葉率の推移
A：角田市東根，B：丸森町金山，C：白石市大鷹沢1，D：角田市枝野，E：白石市大鷹沢2

日)に移植したイネ(早植栽培と呼ばれている)に、その直後(当日または3日後)に成虫を放飼した場合、収量構成要素のうち特に穂数への影響が大きく、株当たり1頭以上放飼では10%以上減収した。一方、4月第5半旬に移植し(早期栽培と呼ばれている)、成虫放飼は越冬後成虫の一般的な活動開始時期に当たるほぼ2週間後の5月第2半旬に行った場合、ある程度穂数の減少は認められるものの、1穂粒数の増加という補償作用が働いて減収程度は軽微であった。愛知の早植栽培の結果に加え、移植時期がほぼ同時期の岐阜、長野の被害解析結果も含めて放飼成虫密度と減収率の間の回帰式が得られ、減収率0%となる成虫放飼数である株当たり0.25個体が被害許容密度とされた¹⁴¹⁾。その後、この結果はそれまでのイネミズゾウムシ研究を総括する形で出版された著書の中で示される¹⁴²⁾とともに、先の回帰式で5%減収するときの密度である株当たり0.5頭が改めて要防除水準として示されることになった。以上の論文や本の中で、著者らは移植から成虫侵入時期までの期間、移植するイネの生育ステージ、イネ生育回復期間の長短、品種、圃場条件などによって、要防除密度は異なることを指摘している。しかし、ここで示された成虫数と減収率の関係は、論文にされる以

前の資料¹³⁹⁾も含めて、各県や農薬会社などが発行する各種資料に広く引用され、本種の防除指針として大きな役割を果たしていった。

一方、東北地方では愛知県での発見から6年後の1982年に、福島、宮城、山形、岩手の諸県で、さらに翌1983年には秋田県と青森県でも確認され、ほぼ同時に本種の東北地方での研究がスタートすることになった。ほとんどの県が被害解析を実施したが、その背景には稲作期間中の温量が少ない寒冷地では、西南暖地よりも被害が大きくなるのではないかという危惧があったように思われる。

日本植物防疫協会が国や都道府県と連携して病害虫情報をインターネット配信しているJPP-NETによれば、2010年時点で東北地方6県の全てでイネミズゾウムシの要防除水準が設定されており、株当たり成虫数でいうと岩手県は0.32、秋田県は0.3、山形県は稚苗が0.5、中苗が0.7、福島は0.22となっている(青森は被害株率と被害度で要防除水準を表現しているため省略)。これらの密度は、宮城県で一般的とした5月上旬の田植での5%減収率5.7個体とは極めて大きな違いがある。

東北の各県で被害解析が盛んに実施された1980年

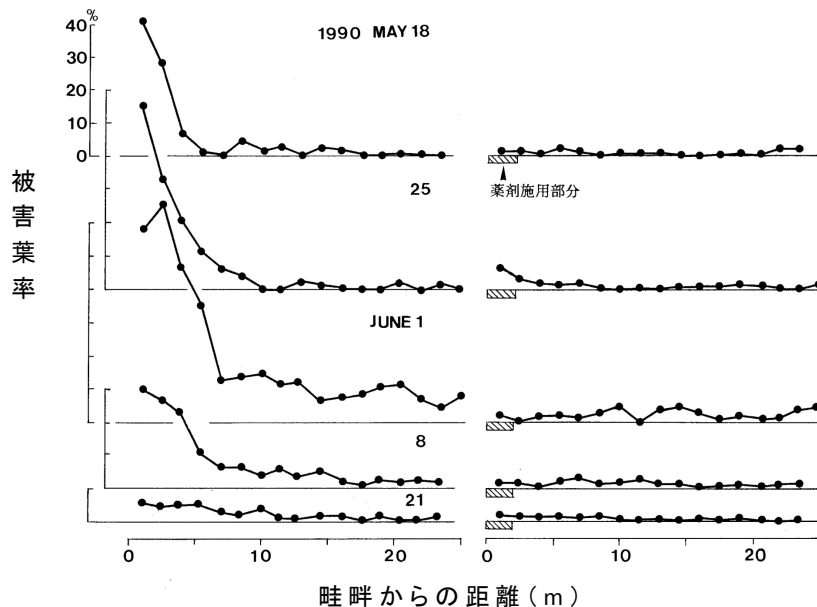


図4-4 無防除水田(左)とこれに隣接した畦畔沿い6列のみ育苗箱処理苗を移植した水田(右)におけるイネミズゾウムシ越冬後成虫による被害葉率の推移

代に、北日本病害虫研究会誌に報告された論文から

網枠試験の方法を調べてみると、青森県は5月第5

半旬に中苗を移植して翌日または9日後に放飼, 5%減収は0.5個体/株^{9) 10)}, 秋田県は5月第5~6半旬に稚苗を移植して当日~3日後に放飼, 3%減収は0.26~0.3個体/株¹³⁷⁾, 岩手県は5月第3半旬に稚苗を移植して3日後に放飼, 5%減収は0.55個体/株⁸⁴⁾, 山形県は5月第5半旬~6月第1半旬に中苗を移植して当日に放飼, 減収率5%は0.7個体/株¹⁴⁷⁾となっている。以上のように, 試験条件や許容減収率に多少の違いは認められるものの, 移植が5月3半旬~6月第1半旬と, 宮城県の一般的な田植時期に比べて遅いことと, 成虫の放飼がほとんど移植直後に行われているなどの特徴がある。

表4-2に, 東北地方の6県と, 要防除水準が初めて示された愛知, 岐阜, 長野の諸県の田植最盛期を, 多くの被害解析試験が実施された年次を代表して1985年と, 現在インターネットを通じて入手できる最新年である2008年について示した(ともに農林水産省の作物統計による)。両年次の田植最盛期は大きく変わらない県が多いこと, 宮城県は東北地方で最も田植時期が早いだけでなく, 愛知, 岐阜, 長野の3県と比べても早いことが示されている。現在は, 極めて早い田植が普及した県もあるが, 1985年前後のしばらくの期間, 宮城県は全国で最も田植が早い県の一つであった。1985年は5月9日となっているが, 9日を中心に田植が行われるのではなく, まず5月上旬の連休中に集中した田植が行われ, 次の土・日曜日に, さらにその次の土・日曜日というように休日を中心とした田植が何度か繰り返され, その平均

表4-2 東北各県と愛知, 岐阜,
長野県の田植最盛期
(作物統計より)

| 県名 | 1985年 | 2008年 |
|----|-------|-------|
| 宮城 | 5月9日 | 5月10日 |
| 青森 | 5月18日 | 5月18日 |
| 秋田 | 5月17日 | 5月17日 |
| 山形 | 5月16日 | 5月16日 |
| 岩手 | 5月14日 | 5月14日 |
| 福島 | 5月15日 | 5月13日 |
| 愛知 | 5月29日 | 5月21日 |
| 岐阜 | 6月4日 | 5月26日 |
| 長野 | 5月19日 | 5月19日 |

として5月9日が最盛期として示されているのである。5月中旬以降の田植は, 山間地など寒冷地や,

他の農作業と競合する場合(例えばいちご栽培農家の収穫期)など, むしろ例外的となっていた。

宮城県で最初の被害解析は1984年から連続3年間実施された(以下永野ら, 未発表)。1984年と1985年は, 区間差が大きく成虫密度と減収率の間に明瞭な関係をみいだせなかった。1986年は, 5月10日に中苗を移植し9日後に成虫を放飼したところ, 放飼密度(x)と減収率(y)の間に $y = 9.64 + 10.78 \log x$ ($r=0.747$)の回帰式が得られ, 5%減収率に相当する密度は株当たり0.4個体であった。単年度の結果ではあるが, これが宮城県の「普及に移す技術」として栽培現場の指導資料とされることになった。被害解析は, 気象条件の異なる複数年の結果に基づいて結論を導くことが一般的であるが, 異例の措置がとられたのは, 早急に現場に防除要否の目安を提供するためであった(永野, 私信)。この点, やむを得ない面もあるが, 単年度というだけでなく, 移植後の放飼までの日数が宮城県の実態と比べて短すぎることや, 試験年次は5月中旬以降7月下旬まで長期にわたり低温で経過し, イネの補償作用が働きにくい年度であったなどの点で, 一般的な結論を導くには問題があった。

著者は宮城県でイネミズゾウムシの侵入が確認された年からしばらくの間, 農業改良普及センターや病虫害防除所でイネミズゾウムシ対策に携わったが, 初めに述べたように, 本種が定着してしばらくすると, 被害はこれまでいわれたほどではないらしいという現場の声が強まった。これを受けて実施したのが今回の要防除水準見直し試験であったが, その結果, イネミズゾウムシの被害は田植時期によって大きく異なることが明らかになった。特に宮城県で最も一般的な5月のゴールデンウィークを利用した田植では, イネミズゾウムシの越冬後成虫が侵入するまで平年で20~25日の期間があり, この間にイネは幼虫の食害する根部を含めて大きくボリュームを増加させている。このため, 全国的にみてもとりわけ田植時期の早かった宮城県では, 愛知県などに比べて被害が発生しにくかったと考えられる。図らずも耕種的な被害軽減が行われていた, ということもできる。以上の宮城県と愛知県における, 田植時期とイネの生育, 越冬後成虫の発生時期, 幼虫の根部加害時期等の関係を模式的に図4-5に示した。なお,

成虫のモニタリングにより防除要否を判定する場合、低温、降雨、風などによって水中の生息率が高まるので、こうした条件での調査は避けるのが望ましい⁵⁷⁾。やはり西南暖地における調査結果に基づき、飛翔活動と関連して夕方にイネの上方に這い上がるため観察に適するとされているが⁴⁸⁾、著者の観察では夕方にはほとんどが水中に潜っているので、寒冷地のモニタリングではこの点も注意が必要である。

ところで、1993年は7月第4半旬ころから8月上旬まで断続的に異常低温が出現し、一般的な田植時期のイネは、幼穂形成期から減数分裂期が低温に遭遇したため、典型的な障害不稔型冷害年となった。この年の被害解析試験において、5月第2半旬と5月第4半旬の田植で、放飼密度が高い場合にかえて収量が高まる傾向が認められたのは、イネミズゾウムシの加害が著しいとイネの生育が遅れ、気温に感受性の高いイネステージが異常低温を回避したためと考えられる。また、5月第6半旬の田植では、放飼密度が収量に与える影響が極めて大きい、これは移植時期が遅いことに加え、加害による生育遅延で、登熟に必要な温量が例年に比べて大幅に不足したためと考えられる。このように、害虫の加害がたまたまではあるが被害軽減に貢献したり、逆に著しく助長する場合があることも、両者のダイナミックな関係を示すものとして興味深い。

4.4.2. 水田内での成虫発生への偏り

いずれの圃場でも畦畔近くの被害葉率が、水田中央部に比べて終始高く推移したことから、宮城県では、成虫による分布は水田周縁部に偏っていることが明らかとなった。これは同時に、本種の産卵も水田周縁部に多く、幼虫による根部の加害も水田の周縁部に集中しやすいことを意味している。

イネミズゾウムシの水田内分布に関する西南暖地における研究では、越冬後成虫の移動に関連して以下のような点が明らかにされている。5月中旬以降に移植される一般的な栽培では、気温の低い初期には歩行侵入もあるため畦畔沿いのイネで密度が高い傾向もみられるが、その後は気温の上昇に伴って越冬場所から飛翔によって侵入する個体が増加し、発生最盛期には畦畔からの距離とは関係なくほぼ一定の密度となり、ランダムに近い弱い集中分布を示すようになる⁴⁸⁾。この調査が行われた三重県としては早い田植となる4月下旬から5月上旬の移植栽培では畦畔沿いのイネに最後まで集中する場合もあるとされるが、これらはむしろ特別な場合として記述されている。一方、既に述べたように、宮城県では最も一般的な田植時期は5月上旬で、越冬後成虫の水田への平年における侵入最盛期は5月の下旬である(図4-5参照)。

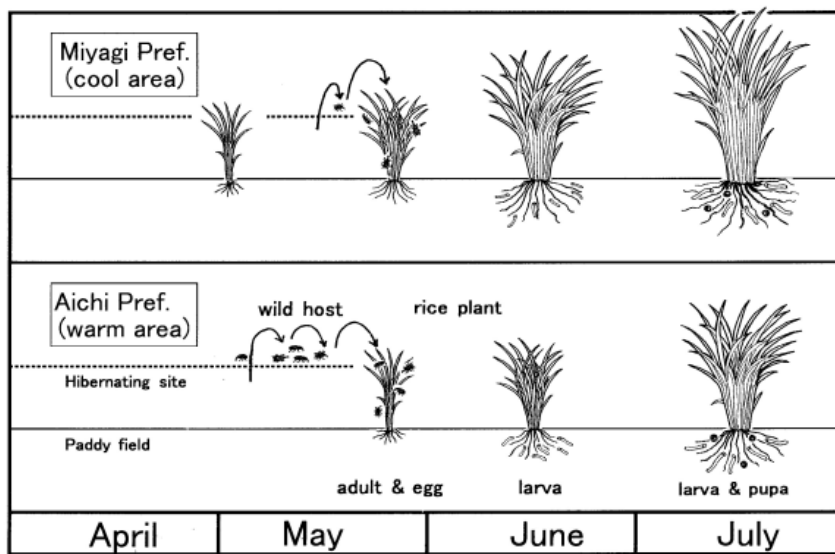


図4-5 宮城県(上)と愛知県(下)におけるイネミズゾウムシの発生時期とイネの生育との関係を示す模式図(Kidokoro⁶⁰⁾より)

粥見⁴⁸⁾は、予察灯や粘着トラップでの捕獲データから、飛翔は平均気温が20℃以上のときに活発になるとしている。宮城県では、病害虫防除所が発生の基準値に用いる本種の水田侵入時期の平年値は、5月第5半旬とされている。このため、気象庁のHPで、宮城県の平野部のアメダス代表地点における5月下旬の平均気温（大部分は1979年代から2000年までの平均値）をみると、米山15.8℃、古川16.2℃、鹿島台15.6℃、仙台16.2℃、亘理16.0℃、白石16.5℃となっており、いずれの地点も20℃よりもかなり低い平均気温となっている。これらの地点で平均気温が20℃を上回るのは7月上旬以降であり、西南暖地に比べて飛翔活動が大幅に抑制されていることが容易に想像され、このことにより、水田内への侵入は宮城県では歩行侵入が主体となり、その結果、水田周縁部への偏在という分布様式がもたらされるものと考えられる。

4.4.3. 水田周縁部防除の有効性

以上見てきたように、水田畦畔沿いイネへの偏った分布が一般的な現象だとすると、薬剤防除においても局所的な防除の可能性が考えられる。従来から、コバネイナゴのように水田畦畔などで孵化した幼虫が徐々に水田内部に侵入していく場合、水田周縁部のイネだけに生息する時期に粉剤や液剤を用いて防除する方法が行われており、これを上から見た時の形状に因んで「額縁防除」と呼んでいた。これまで育苗箱施用粒剤による額縁防除を試みた例はなかったが、茎葉散布剤に代わって同処理法によるイネの初・中期害虫防除が主流となっていたため、これを用いた周縁部防除の有効性について検討した。その結果、畦畔に近い6条だけ薬剤処理した苗を移植するだけで、ほとんど水田全体でイネミズゾウムシ越冬後成虫の被害痕がみられなくなり、育苗箱処理剤を用いた額縁防除でも、減農薬的使用が可能であることが示された。

現在の寒冷地の稲作では、イネミズゾウムシだけでなく、イネドロオイムシも発生する水田が比較的多い。イネドロオイムシはほぼ水田全体に発生し、周縁部だけの防除では十分な効果は期待できない。しかし、イネミズゾウムシには効果がないか不十分

であってもイネドロオイムシには十分な効果がある育苗箱処理剤も存在した。これらは開発年次が早いことから、薬剤費が低い特徴がある。このため、水田の周縁部の数条だけをイネミズゾウムシとイネドロオイムシがともに防除可能な処理剤を使用し、水田の内部にはイネドロオイムシだけに効果のある薬剤を使用することで、低コスト防除を実現することも可能と考えられた。

また、一部の水田ではコバネイナゴも同時に発生するが、同種は先にも述べたように畦畔から徐々に侵入するので、同様の額縁防除の可能性が考えられる。実際に同種に登録のあるフィプロニル粒剤を用いて同様の試験を実施した結果、その有効性が明らかになり、周縁部に移植すべき条数は2条でもよいことが示されている^{73) 74)}。

第5章 イチモンジセセリ越冬世代成虫飛来による寒冷地のイネにおける発生の可能性

5.1. 緒言

イチモンジセセリ（イネツトムシ）*Parnara guttata guttata* (Bremer et Grey) (チョウ目：セセリチョウ科)は、日本全土でみられる普通種の蝶であるが、その幼虫はイネの害虫としても古くから知られている。主に第2世代幼虫が出穂期前後の葉を食害するとともに、蛹化時には周囲の葉を綴り合わせて巣（ツト（苞））を作り、多発時には「一方で引くと全圃のイネが動く」¹²⁸⁾といった加害状況さえ報告されている。本種によるイネの多発事例は全国で広く認められているが、特に関東、中部、北陸、近畿など、本州中央部の諸地方で多い⁵⁶⁾。東北地方南部に位置する宮城県では、極端に田植が遅い水田で多発することはあったが、これまであまり重要視されることはなかった。しかし、その後省力的稲作として普及し始めた直播栽培ではしばしば多発し、この栽培法と組み合わせた飼料イネでも多発しやすいことから問題になっている¹³²⁾。また、宮城県の北に隣接する岩手県でも、従来は局地的な発生に留まっていたが、初めて広範囲の水田で発生して被害をもたらしたことが報告されている¹¹⁹⁾。さらに本種の発生をほとんど認めなかった青森県でも、2010年には太平洋側の地域で多発した水田が各地で認められた（石谷、私信）。

ところで、宮城県のイネでは、第2世代幼虫とみられる7月下旬以降の発生は、蛹化時に作られるよく目立つ巣によって広く知られてはいたが、それ以前に発生する第1世代幼虫が確認されたことはなかった。しかし、1990年に初めて病害虫防除所の6月下旬～7月中旬の巡回調査時に、県南部を中心に多くの地点で初めて発生が確認された。イチモンジセセリは寒冷地での越冬が困難とみられていることから¹¹²⁾、第1世代幼虫の発生が、温暖な地域から移動してきた越冬世代成虫に由来する可能性について検討した⁵⁵⁾。

5.2. 材料および方法

5.2.1. 第1世代幼虫の発生地点

宮城県病害虫防除所では定期的な水稻病害虫の調査を毎年実施しているが、1990年は県内100地点前後の水田を対象に、5月下旬以降3つのチームが2週間隔で3～4日かけた調査を実施した。今回の検討対象とした巡回調査時期は、6月18～21日、7月2～5日、7月16～18日で、この時期は葉いもちの初期発生調査のため、1地点につき1,000株程度の見取り調査を実施している。この時期のイチモンジセセリは調査対象とはなっていなかったが、著者の所属する調査チームが通常とは異なる時期の発生を6月21日に確認したため、他の調査チームにも呼びかけて確認地点を記録したものである。発生確認は幼虫が作る巣による場合が多かったが、一部の巣を割いて発育段階を確認した。

5.2.2. 冬期間の気温と第2世代の発生量

冬季の気温については、Nakasuji et al.¹⁰⁹⁾が最低気温0℃以下の日数と冬季の幼虫生存率に負の相関を認めている。このため、同様の方法により、冬季の気温と発生量との関係を調べた。宮城県では、前述したように第1世代の発生について過去の記録はなく、直接この世代と冬季の気温との関係を検討することはできない。しかし、やはり越冬に不適とされる長野県で、第1世代と第2世代の幼虫発生量に正の相関を認めていることから¹²⁶⁾、第2世代発生量と、発生が多かった県南部を代表し白石の気象条件との関係を検討した。気象資料は仙台管区気象台が発表

する宮城県気象月報を用い、発生量については1973年から宮城県農作物有害動植物発生予察事業年報（1987年以降は宮城県植物防疫年報）に記録されている第2世代幼虫の発生面積を用いた。なお、あまり重要害虫とみられてこなかったイチモンジセセリでは、調査基準に基づく調査結果だけでなく、巡回調査時の達観的な観察から発生面積が推定される傾向が強く、その精度には問題もある。しかし、本種が蛹化時に作る巣はよく目立つことから、多発年か少発年かのおおまかな傾向は反映しているものと考えた。

5.2.3. 越冬世代成虫の産卵時期の推定

蛹または蛹化直前の幼虫が確認された時を起点として、産卵から蛹化までに必要な有効積算温度を、1990年の気温推移に当てはめて逆算することにより産卵時期を推定した。

中筋¹⁰⁷⁾によれば、幼虫の発育下限温度は10.3℃、卵から羽化までに必要な有効積算温度は493日度であるが、このうち卵から蛹化までに必要な有効積算温度415日度¹⁰⁹⁾（中筋、私信）を計算に用いた。卵の発育下限温度は幼虫よりやや高いとのことであるが、結果に大きく影響することはないとみられるので、幼虫と同じとみなした。

気象資料は前項と同じく仙台管区気象台が発表する宮城県気象月報を用い、代表地点として白石の日最高気温と日最低気温を用いた。有効積算温度の算出には、気温の実際の日変化を良く近似しているとされる坂神・是永¹²⁴⁾の“三角法”を用いた。

5.3. 結果

5.3.1. 第1世代の発生時期と発生地点

巡回調査の概要を表5-1に示した。最初に発生を確認したのは6月21日で、県南部の水田（角田市東根）において、老齢幼虫2個体を認めた。両個体ともすでに蛹化のための巣を作っており、気門からは白色の粉状物質を分泌しており蛹化直前とみられた。

次に発生が確認されたのは7月3日と4日で、地点はやはり県南部（亶理町吉田と岩沼市根方）であった。岩沼市の水田では巣の確認しかしておらず発生量も多くはなかったが、亶理町の水田では多数の

表5-1 1990年におけるイチモンジセセリ第1世代幼虫・蛹の確認地点概要

| 確認時期 | 確認地点数／調査地点数(%) | ステージ |
|----------|----------------|-------------------|
| 6月21日 | 1/106 (0.9) | 老熟幼虫(前蛹) |
| 7月3~4日 | 2/105 (1.9) | 老熟幼虫(前蛹) |
| 7月16~18日 | 21/92 (22.8) | 老熟幼虫が主、一部弱～中齢幼虫、蛹 |

巢と蛹化直前とみられる老熟幼虫が認められた。この水田では7月9日に改めて調査を行った結果、寄生株率は18%で発育段階は老熟幼虫を主とし一部が蛹と中齢幼虫であった。

その後、7月16日～18日の巡回調査時に、県南部以外の地点を含む県内各地の水田で発生が認められ、92調査地点のうち23%に当たる21地点で巢を確認した。発育段階については、これを調査した14地点のうち3地点が若～中齢幼虫だったほかは、老熟幼虫または蛹が主であった。発生密度については正確な調査を行っていないが、蛹化時のよく目立つ巢の発生程度で判断すると、数百株またはそれ以上で1株程度の発生とみられるところが多かった。

以上の調査結果をもとに、発生の確認された地点を黒丸で、確認されなかった地点を白丸にして、宮城県の地図上にプロットした(図5-1)。確認地点は、明らかに県南部に偏っているが、最も県の北部に位置する地点(気仙沼市階上)でも確認された。

5.3.2. 冬季の気温と第2世代の発生量

表5-2に、発生を確認した宮城県南部、中部、北部を代表させて、白石、仙台、気仙沼における過去20年間の最低気温0℃以下の日数について、最大値、最小値、平均値を示した。いずれの地点も最大値は100日を越え、平均値でも100を越えるかそれに近い日数となったが、最小の年には仙台の53日や白石の65日など、かなり少ない値を示した。この最小の年は、いずれの地点も1989年11月から1990年4月かけて出現しており、典型的な暖冬年であったことがうかがえる。

図5-2に最低気温0℃以下の日数(白石)と、第2世代の発生面積の関係を示した。最低気温0℃以下の日数は、最小65日(1990年)から最大125日まで大きな変動を示しているが、その日数が多く寒さ

表5-2 宮城県内3地点における冬季の最低気温0℃以下の日数

| 地点 | 最大値 | 最小値 | 20年平均 |
|-----|-----|-----|-------|
| 気仙沼 | 130 | 77 | 107.5 |
| 仙台 | 114 | 53 | 83.6 |
| 白石 | 125 | 65 | 96.4 |

注1: 1971年から1990年の20年分の解析結果
注2: 該当日は11月から4月まで出現したので、ここでいう冬季はこの期間を指す。

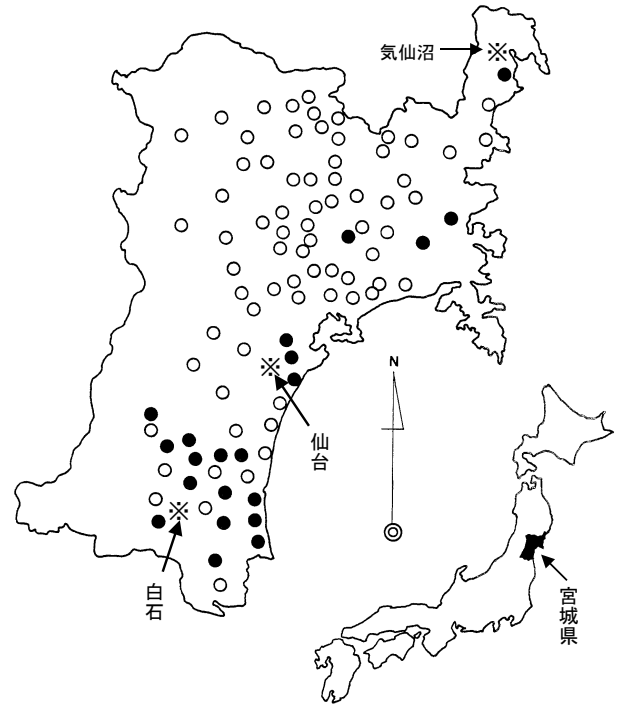


図5-1 宮城県における1990年のイチモンジセセリ第1世代幼虫・蛹のイネでの確認地点 ※は白石、仙台、気仙沼のアメダス観測地点を示す。

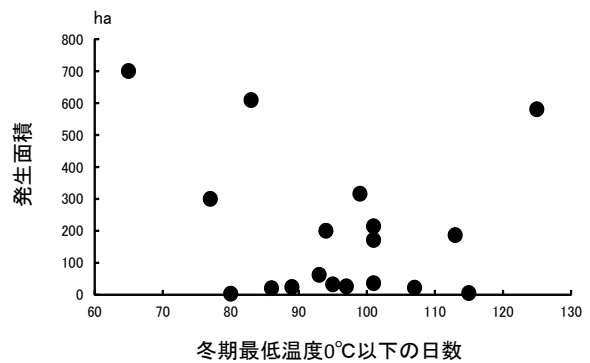


図5-2 冬季の最低気温0℃以下の日数とイチモンジセセリ発生面積の関係

の厳しい年にも発生面積の多い年がみられる反面、同日数が少ない暖冬年であっても少発の年がみられるなど、両者の間に明瞭な関係は認められなかった。

今回の発生に直接関係する可能性のある、1989年～'90年の冬季の同日数については、県内全ての気象観測地点の結果を表5-3に示した。宮城県内の冬季における最低気温0℃以下の日数は、山間部・駒ノ湯の106日から島嶼部・江ノ島の23日まで大きな違いがみられる。こうした特殊な地域を除き、宮城県の主要な水田地帯とされる地域だけを考えても、仙台の46日から築館の92日まで大きな違いがあった。

5.3.3. 越冬世代成虫の産卵時期の推定

有効積算温度によって求めた推定産卵時期を図5-3に示した。計算の起点とした月日は、蛹または蛹化直前の幼虫が確認された6月21日、7月3日、7月16日とした。この解析結果によると、6月21日を起点として逆算した推定産卵時期は5月6日となった。同様に、7月3日では5月21日、7月16日では、6月5日がそれぞれ推定産卵時期であった。

5.4. 考察

イチモンジセセリの第2世代成虫が、8月下旬から9月中旬にかけて南西方向に移動する現象は古くからよく知られており^{24) 26) 110) 149)}、観察事例の少ない

表5-3 1989～'90における気象観測地点の最低気温0℃以下の日数

| 観測地点 | 日数 | 観測地点 | 日数 | 観測地点 | 日数 |
|------|-----|------|----|------|----|
| 駒ノ湯 | 106 | 古川 | 71 | 江ノ島 | 23 |
| 気仙沼 | 77 | 大衡 | 86 | 仙台 | 46 |
| 川渡 | 83 | 鹿島台 | 88 | 川崎 | 95 |
| 築館 | 92 | 石巻 | 68 | 白石 | 65 |
| 米山 | 86 | 新川 | 99 | 亘理 | 55 |
| 志津川 | 81 | 塩竈 | 56 | 丸森 | 77 |

東北地方でも幾つかの報告がある⁵⁹⁾。しかし、越冬世代成虫または第1世代成虫によって、これとは逆方向の移動がおこなわれているかどうかについては明らかでない。長谷川²⁰⁾は、栃木県における第1世代成虫の出現時期が、その地方の越冬個体群に由来したとみるには早すぎると考え、第1世代成虫による北方向への移動を主張した。その後、この第1世代成虫出現時期は中筋¹⁰⁷⁾による有効積算温度を用いた計算により、その地方の越冬世代成虫の子孫と考えても不合理ではないことが指摘されている。しかし、明らかに本種の越冬が困難視される北海道でも夏季には成虫が認められることから、いずれかの世代成虫が、方向性をもつかどうかはともかく、移動・分散により毎年北方への分布拡大を果たしていることは疑いない。

一方、本種の成虫には季節型が存在し、日長による支配を受けている^{20) 34)}。Ono and Nakasuji¹²⁰⁾およ

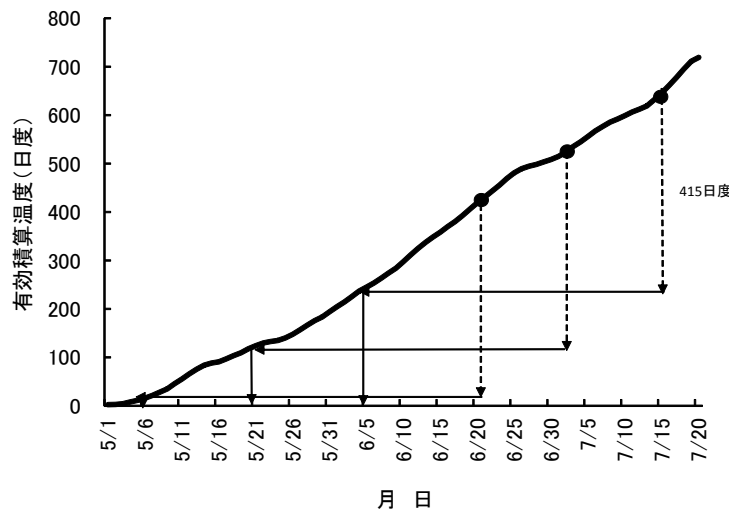


図5-3 蛹化確認時点から発育に必要な有効積算温度を逆算して求めたイチモンジセセリ越冬世代成虫の推定産卵時期 (黒丸が確認時点を示す)

び Nakasuji and Nakano¹¹²⁾ は、短日条件下で得られた成虫は長日条件下で得られた個体と形態的に異なるだけでなく、飛翔能力が大きく、雌では産卵前期間が長いなど移動に適したタイプであることを明らかにした。これらの結果は、第2世代成虫だけでなく、同じく短日条件下で発育する越冬世代幼虫が移動に適した成虫となり、北方への分布拡大は主にこの世代によって行われると考えるのが合理的であることを示している。しかし、本種の越冬世代成虫が北ないし北東方向への移動を行っているとしても、成虫密度は第2世代成虫に比べてきわめて低く、直接の観察により移動や移動方向を確認することは困難とみられる。したがって、越冬世代成虫の移動実態を明らかにするには、実験的解析からの類推とともに、越冬が困難とみられる地域における発生実態の解明が重要と思われる。

本種が越冬可能な北限地域は明らかになっておらず²⁴⁾、宮城県での越冬の可否も不明である。しかし、休眠中の中齢幼虫ですら、5℃程度の低温下に6週間おくと大部分が死亡することから、耐寒性の弱い昆虫とみられている^{35) 36)}。Nakasuji et al.¹⁰⁹⁾ は、野外における越冬幼虫の生存率を調べ、冬期間の最低気温0℃以下の日数が多くなるほど生存率が低下し、それがほぼ100日に達すると越冬が不可能となること、また、積雪がある条件ではさらに生存率が低下することを示した。この結果を利用して宮城県における越冬の可否を検討してみると、最低気温0℃以下の日数は過去20年の平均値で県南部の白石では96.4日、第1世代幼虫の発生を認めた最も北の地点である気仙沼で107.1日となり、積雪を考慮しなくとも、越冬はかなり困難とみられた。しかし、今回問題としている1989年から1990年にかけての冬期間は明らかな暖冬年で、両地点の最低気温0℃以下の日数はそれぞれ65日と77日で過去20年間で最も少ない値であった。宮城県の積雪量は東北地方の中ではあまり多くなく、どの程度の降雪があれば死亡率が高まるかも明らかでないので、以上の結果からは越冬の可能性も否定できなかった。だが、最低気温0℃以下の日数がとくに少なかった地点を気象月報で調べてみると、それが60日以下であったのは、18観測地点中で江ノ島の23日、塩竈の56日、仙台の46日、亘理の55日であった。これらは全て、仙台湾を

中心とする沿岸部または島に位置しており、温度的には最も越冬の可能性が高かった地域といえる。しかし、実際に第1世代幼虫の確認地点率が高かったのは、より寒冷な内陸部を含む県南部であり、最低気温0℃以下の日数が95日の地点(川崎町)でも発生を認めるなど、地域的に一致しなかった。また、前年の冬期間も最低気温0℃以下日数は、白石77日、気仙沼87日でかなり少なかったが、この年の病害虫防除所の巡回調査では発生は全く確認されていない。また、第1世代と第2世代の発生量に正の相関が認められていることから¹²⁸⁾、第2世代の発生面積と最低気温0℃以下日数との関係をみたが、これも相関をみいだせなかった。以上のことから、当地域の越冬可能性だけによって第1世代幼虫の発生を説明することには疑問が残った。

次に有効積算温度を用いた産卵時期の推定では、早い地点で5月上旬～中旬、多くの地点では6月上旬という結果であった。他地域における越冬世代成虫の出現時期をみると、京都府や香川県などの西南暖地では、羽化または産卵は5月中旬に始まり、5月下旬～6月上旬にピークとなる^{3) 107)}。また、これらの地域と地理的、温度的に宮城県との中間に位置する栃木県では、最も早い成虫発生の記録でも5月20日以降で、6月上旬がピークとされている²⁰⁾。1990年の他県の気象経過との比較は行っていないが、理科年表(昭和62年版)に掲載された代表地点の4月の平均気温をみると、仙台(宮城県)の10.0℃に比べて、宇都宮(栃木県)11.6℃、京都(京都府)13.7℃、高松(香川県)13.2℃で、明らかに高い。参考までに、理科年表に生物季節として取り上げられたモンシロチョウの初見日をみると、仙台が4月6日、宇都宮が3月20日、京都が3月23日、高松が3月10日である。今回推定された産卵時期がどの程度の精度か不明ではあるが、越冬幼虫が発育する4月以降の気温は1990年は平年並みであり(4月平均気温で+0.4℃)、産卵が宮城県で越冬した個体群に由来した考えるには早過ぎるように思える。

中筋・石井¹¹⁰⁾ および中筋・中野¹¹¹⁾ は、越冬が困難で温量も少ない福井県で京都とほぼ同時に越冬世代成虫が採集されることを、この世代成虫の北方向への移動が起こっている有力な状況証拠と考えた。1990年に宮城県で観察された事例も、当地域内での

越冬可能性を完全には否定することができないが、より南方から移入した越冬世代成虫によると考えた方が合理的ではなかろうか。しかし、これが移動によるものだとしても、宮城県という南北 150 km 程度の地域内でみられた顕著な密度勾配を説明するには、あまり遠距離からの移入は考えにくい。1990 年 2 月の高温傾向は全国的なものだったことと¹⁴⁶⁾、宮城県の南に隣接した福島県では、中・南部沿岸の双葉郡檜葉町やいわき市久之浜町などで越冬が確認されていることから（草野；私信）、こうした南方近隣地域での越冬期生存率が上昇し、その結果、第 1 世代が多発した可能性が考えられる。また、ミナミアオカメムシ¹¹⁾ ¹⁰⁴⁾ ¹⁵³⁾ やナガサキアゲハ¹⁵¹⁾ のように、冬季の気候温暖化が越冬条件を有利にして、分布域を拡大・北上する昆虫の例が報告されるようになっていく。最近の東北地方における多発頻度の増加も、越冬条件との関連でさらに解析を進めることが発生予察のうえでも重要と考えられる。

第 6 章 ツマグロヨコバイ個体群動態の地理的変異と寒冷地における発生の特徴

6.1. 緒言

ツマグロヨコバイ *Nephotettix cincticeps* (Uhler) (カメムシ目：ヨコバイ科)は、北海道を除くわが国に広く分布する多化性の昆虫である。九州、四国、関東地方以西の本州太平洋側地方などの西南暖地では、イネ萎縮病などイネの重要病害を媒介するベクターとして重要であることから、その個体群動態に関する先駆的な研究が精力的におこなわれた。例えば九州における研究では、水田侵入後の全世代を通じて強い密度調節作用が働くことにより、初期密度の高低に関わらずピーク世代の密度は世界に類例がないほど年次変動の少ない昆虫であることが指摘された⁹¹⁾ ⁹²⁾。また四国においても、同様に密度に依存した調節機構の存在が明らかにされた⁸¹⁾。

一方、東北地方や北陸地方においては、病害の発生は少なくベクターとしての役割は小さいものの、年次によってはイネの出穂期以降の時期に吸汁による減収害を生ずるほどの高密度に達することがある¹⁾ ⁴⁷⁾ ⁵⁴⁾ ¹⁰⁵⁾。腰原⁸⁶⁾は、東北地方の誘殺記録を解析し、発生前期の発生量の多少が後期の発生量の多少にそ

のまま引き継がれることが多いとした。東北地方と同様に密度変動が大きいとされる北陸地方の富山県では、初期密度の違いを相殺するように密度調節作用が働くが、それが不十分であるためときには大発生が起こるといふ、西南暖地と東北地方との中間的な発生経過も報告されている⁴⁶⁾。

種の個体数は、その分布の中心域や好適環境下では密度依存的な調節機構により安定しているが、周縁域や不適環境下では密度に依存しない要因の働きが大きく、個体数変動も激しいという理解しやすい考え方が提唱されている²⁹⁾ ¹²²⁾。幸いツマグロヨコバイでは、第二次世界大戦終結後に整備された農作物有害動植物発生予察事業で、比較的長期にわたる発生予察灯による水稲害虫の誘殺記録が蓄積されている。これまでも誘殺記録の解析が行われたことはあるが、北陸地方¹¹⁸⁾、東北地方⁸⁶⁾などある地域内に限られたものであった。著者は、同一の方法で本種の全国の誘殺記録を解析することにより、わが国の分布域全体における個体群動態の地理的傾向を明らかにしようとした⁵⁰⁾。

6.2. 材料および方法

解析の対象としたツマグロヨコバイ誘殺数のデータは、農作物有害動植物発生予察事業で全国の都道府県で記録されたものである。この事業では、1980 年代初めまでは、多くの都道府県で複数の誘殺灯が設置され記録が公表されていたが、1975 年に当時農林省熱帯農業研究センターに在職された大竹昭郎氏は、全国の農業試験場に依頼して最も信頼できる 1 地点のデータという条件で主要稲作害虫（ニカメイガ、ウンカ類 3 種、ツマグロヨコバイ）の誘殺記録を収集した。これを "Annual Totals of Some Important Pest Insects caught in Light Traps in Japan" としてまとめられ（1976、未発表）、情報収集に協力した我々に自由に使用してよいとして提供された。そこには 43 都道府県から寄せられた、多くは同事業が本格的に開始された 1949 年から 1975 年まで、27 年間の農業試験場における年間総誘殺数の記録が掲載されている。まずこれを用いて検討を行った。

次に、世代別の誘殺数から密度依存的な調節作用があるかどうか検討を行うために、宮城県農業セン

ター図書館が保有していた20の県の農作物有害動物発生予察事業年報に記録された半旬別誘殺数と半旬別平均気温を利用した。誘殺数の消長は連続しているため世代を機械的に分離することが困難であるため、次のような便法を用いた。まず、腰原・河部⁸⁵⁾を参考に、発育下限温度を13℃、産卵前期間を含む1世代経過に必要な有効積算温度を400日度とした。越冬世代の中齢幼虫が羽化までに必要な有効積算温度は不明であるが、日別の誘殺数の発消長グラフを作成すると、多くは200日度を越えると第1世代成虫と考えられる誘殺数が増加していた。このため、200日度までは越冬世代成虫とし、200日度から600日度までを第1世代、600日度から1000日度までを第2世代、1000日度から1400日度までを第3世代、1400日度から1800日度までを第4世代の成虫とした。以上の手順は厳密さを欠くものの、世代の区切りとした温度と実際の誘殺数の減少時期が一致する場合が多く、ここでの目的からは、大きな問題はないものと考えた。こうして得られた第1世代以降の各世代総誘殺数をそれぞれ、G1、G2、G3、G4で示した。越冬世代の成虫は、おそらく密度自体が低いことと低温の時期には飛翔活動が抑制されるために、いずれの地域でも誘殺数は少なかった。このためここでの解析対象からは除外した。また後半の世代では上記した有効積算温度が完全にある世代分に満たず、中途半端に終わることがあるが、そこで誘殺されたデータは解析の対象から除外した。また、解析可能なデータが10年に満たない地点も除外した。ただし、岩手県は分布北限に近い地域であることから、第2世代誘殺数が1000日度に満たない年度も、900日度を越えた4年は採用し、それでも8年のデータしかないが検討対象とした。

6.3. 結果

6.3.1. 年間誘殺数の年次変動

年間誘殺数の年次変動について、典型的な三つのタイプを図6-1に示した。タイプAは岩手県の誘殺記録であるが、全く誘殺されない年次がある一方で1,000,000個体近くの誘殺を記録した年次があるなど、極めて年次変動が大きい。こうしたタイプの年次変動は分布の北限地域である東北地方の北部でみ

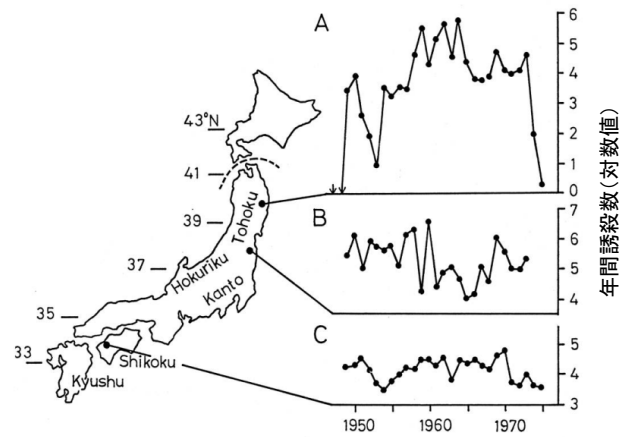


図6-1 三地域におけるツマグロヨコバイ年間誘殺数の年次変動
A：岩手，B：宮城，C：香川での記録
破線は分布の北限

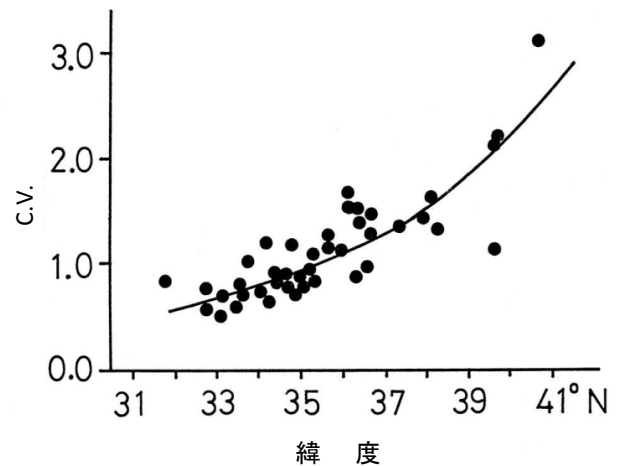


図6-2 ツマグロヨコバイ年間誘殺数の変動係数(C.V.)と予察灯の設置緯度の関係

られる。タイプBは平均誘殺数はタイプAより多いが、変動性はやや小さくなり鋸歯状の年次変動が認められる。このタイプは東北地方の南部や北陸地方で見られる。タイプCは、誘殺数の年次変動が小さく、平均誘殺数も少ない。このタイプは関東地方以南の広い地域で見られる。

年次変動の大きさの地理的変異をみるために、誘殺灯が設置された緯度に対して年間誘殺数の変動係数(C.V.:標準偏差/平均値)をプロットして図6-2に示した。変動係数は低緯度地方から高緯度地方に向かってしだいに増大し、分布北限地域では極めて

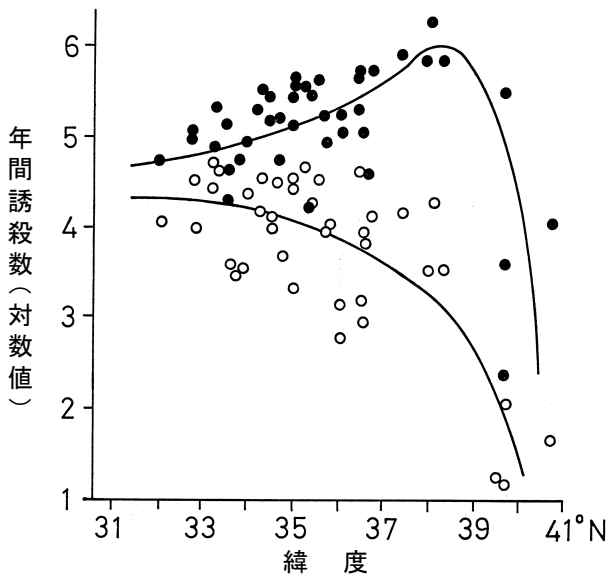


図 6-3 ツマグロヨコバイ年間誘殺数の多誘殺値（黒丸：上位 5 年平均）と少誘殺値（白丸：下位 5 年平均）と予察灯の緯度の関係

大きな値が出現している。このことは、ツマグロヨコバイの個体数の年次変動が、わが国の南部より北部で大きく、特に分布北限地域で顕著であることを示している。

各地点の誘殺記録のうち、上位 5 年の平均値（多誘殺値とする）と、下位 5 年の平均値（少誘殺値）を求め、同様に誘殺灯が設置された緯度に対してプロットした（図 6-3）。多誘殺値はバラツキが大きいものの、低緯度地方から北緯 39 度付近まではだいに増加する傾向がみられ、さらに高緯度では急激に低下した。少誘殺記録についてもバラツキが大きい

が、低緯度から高緯度に向けてだいに減少し、北緯 39 度付近からやや急激に低下する傾向がみられた。ツマグロヨコバイは多化性の昆虫であり、より寒冷な高緯度地方では年間世代数は少ない。また、低温は飛翔の阻害要因ともなることから高緯度地方では誘殺効率を低下させる可能性もある。こうした、高緯度地方では年間誘殺数を低下させる要因が存在するにも関わらず、多誘殺値がある緯度までは高まることは、北日本地域においては本種個体群が実際に年次によっては吸汁害を生じさせるほどの高密度レベルに達することを裏付けているといえよう。また、個体数変動の大きさは既に図 6-2 で示されていたが、吸汁害に結びつく多発時の密度の絶対値が北緯 39 度辺りで、最も高いことは図 6-3 により明瞭に示された。

6.3.2. 世代間増殖率の密度依存性

表 6-1 に今回の解析に用いることのできた誘殺灯データの所在地と、誘殺灯の置かれた緯度、各県の県庁所在地における年平均気温（理科年表による）、解析に利用できた各世代の年数を示した。例えば岩手県では誘殺灯は盛岡市の北緯 39° 44' の位置に設置され、第 1 世代は 11 年、第 2 世代は 8 年分のデータが利用できたことを示している。年数が第 2 世代で少ないのは、有効積算温度が 1000 日度に達しなかった年次があったためである。利用可能年数を最も低緯度で温量も多い佐賀県でみると、第 1～第 3 世代までは全て 11 年分のデータがあるが、第 4 世代に

表 6-1 解析に用いたツマグロヨコバイ誘殺データの得られた地点と利用できた世代別年数および世代間増殖率に関するパラメータ（詳しくは本文参照）

| 県 | 所在地 | 緯度 | 平均気温 (°C) | 利用可能年数 | | | | G ₁ ~G ₂ | | G _{n-1} ~G _n | | | |
|-----|------|---------|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------------|--------|----------------------------------|----|-------|----------------|
| | | | | G ₁ | G ₂ | G ₃ | G ₄ | n | b | r ² | n | b | r ² |
| 岩手 | 盛岡市 | 39° 44' | 10.1 | 11 | 8 | 0 | 0 | 8 | 1.533 | 0.898*** | 8 | 1.533 | 0.898*** |
| 秋田 | 秋田市 | 39° 40' | 11.3 | 15 | 15 | 0 | 0 | 15 | 1.006 | 0.725*** | 15 | 1.006 | 0.725*** |
| 山形 | 山形市 | 38° 15' | 11.3 | 16 | 16 | 0 | 0 | 16 | 0.949 | 0.747*** | 16 | 0.949 | 0.747*** |
| 宮城 | 岩沼市 | 38° 06' | 11.3 | 19 | 19 | 0 | 0 | 19 | 1.060 | 0.561** | 19 | 1.060 | 0.561** |
| 福島 | 郡山市 | 37° 25' | 12.0 | 16 | 16 | 3 | 0 | 16 | 0.698 | 0.579* | 19 | 0.743 | 0.613** |
| 長野 | 長野市 | 36° 39' | 12.2 | 12 | 12 | 7 | 0 | 12 | 1.015 | 0.440 | 19 | 0.595 | 0.361* |
| 茨木 | 水戸市 | 36° 23' | 13.6 | 13 | 13 | 6 | 0 | 13 | 0.594 | 0.736** | 19 | 0.127 | 0.045 |
| 滋賀 | 木之本町 | 35° 31' | 13.5 | 11 | 11 | 9 | 0 | 11 | 0.705 | 0.771** | 20 | 0.284 | 0.172 |
| 鳥取 | 鳥取市 | 35° 30' | 14.5 | 15 | 15 | 15 | 1 | 15 | 0.160 | 0.021 | 31 | 0.264 | 0.122 |
| 神奈川 | 平塚市 | 35° 20' | 15.0 | 14 | 14 | 14 | 1 | 14 | 0.101 | 0.012 | 29 | -0.08 | 0.016 |
| 静岡 | 静岡市 | 34° 58' | 16.0 | 11 | 11 | 11 | 5 | 11 | 0.315 | 0.257 | 27 | -0.29 | 0.085 |
| 愛知 | 安城市 | 34° 57' | 14.9 | 11 | 11 | 11 | 3 | 11 | 0.384 | 0.129 | 25 | -0.1 | 0.017 |
| 三重 | 鈴鹿市 | 34° 53' | 15.0 | 14 | 14 | 14 | 2 | 14 | 0.647 | 0.214 | 30 | 0.063 | 0.005 |
| 広島 | 西城町 | 34° 26' | 13.7 | 15 | 15 | 12 | 0 | 15 | 0.233 | 0.054 | 27 | 0.067 | 0.014 |
| 香川 | 高松市 | 34° 16' | 15.3 | 16 | 16 | 16 | 7 | 16 | -0.141 | 0.020 | 39 | -0.17 | 0.033 |
| 徳島 | 徳島市 | 34° 05' | 15.4 | 14 | 14 | 14 | 6 | 14 | 0.169 | 0.027 | 34 | 0.393 | 0.164 |
| 愛媛 | 松山市 | 33° 51' | 15.7 | 18 | 18 | 18 | 10 | 18 | 0.030 | 0.001 | 46 | 0.225 | 0.055 |
| 大分 | 宇佐市 | 33° 32' | 15.5 | 12 | 12 | 12 | 5 | 12 | 0.093 | 0.008 | 29 | 0.056 | 0.002 |
| 福岡 | 筑紫野市 | 33° 30' | 15.3 | 17 | 17 | 17 | 6 | 17 | 0.498 | 0.199 | 40 | 0.568 | 0.312 |
| 佐賀 | 佐賀市 | 33° 15' | 16.1 | 11 | 11 | 11 | 9 | 11 | -0.414 | 0.044 | 31 | 0.271 | 0.066 |

所在地名は当時
年平均気温は各年報に記載された値
*, **, ***はそれぞれ90%, 95%, 99%で有意であることを示す

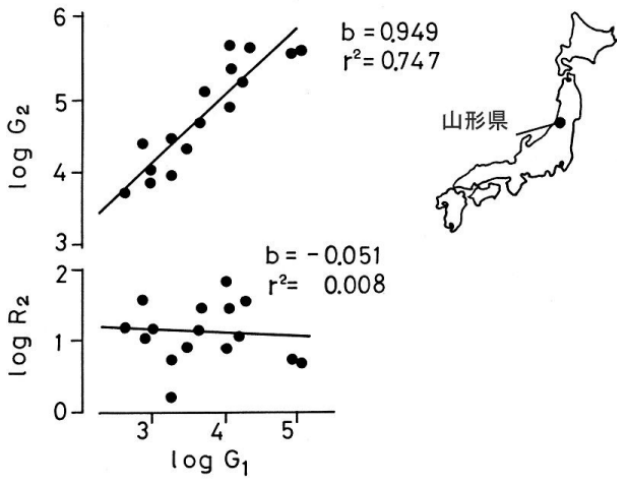


図 6-4 山形県の第1世代誘殺数 (G_1) と第2世代誘殺数 (G_2) および第1世代から第2世代への増殖率 (R_2) の関係

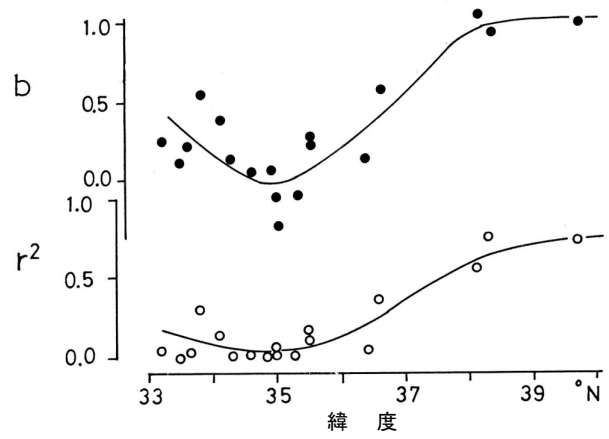


図 6-6 ある世代の誘殺数 (対数値) と次世代の誘殺数 (対数値) の直線回帰式の回帰係数 (b) および決定係数 (r^2) の地理的傾向

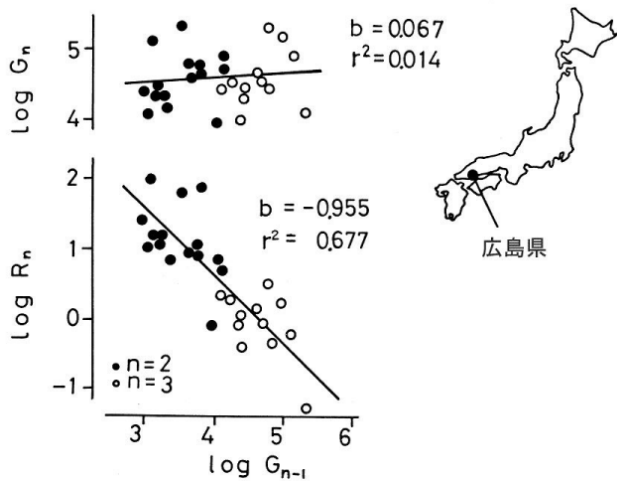


図 6-5 広島県のある世代の誘殺数 (G_{n-1}) と次世代誘殺数 (G_n) および世代間増殖率 (R_n) の関係

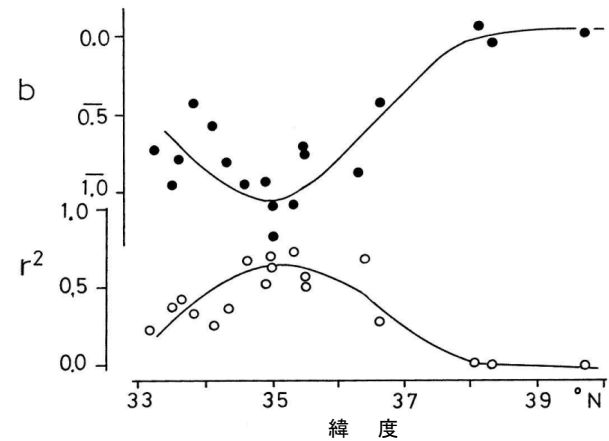


図 6-7 ある世代の誘殺数 (対数値) と次世代への増加率 (対数値) の直線回帰式の回帰係数 (b) および決定係数 (r^2) の地理的傾向

については2年間は1800日度に達しなかったために、9年間となっている。なお、ここで推定された世代数は宮城県 (城所, 未発表) や福岡県²⁸⁾での実際の世代数とよく一致していた。

表 6-1 で各地点の世代数をみると、東北地方の岩手、秋田、山形、宮城の各県は、温量的に全うできる世代数は第2世代までであった。東北地方では太平洋側南部に位置する福島県だけが第3世代誘殺数として解析可能な年次を含んでいたが、第1世代や第2世代が16年に対し、わずか3年であった。以下、

より低緯度地方になると、第3世代で利用できる世代数が増え、さらに本州の東海地方以南では第4世代の利用可能年数も増えた。

世代間増殖の特徴を解析する方法として、久野⁹¹⁾にならい、ある世代と次世代の誘殺数の対数値の直線回帰式の傾き (b) と決定係数 (r^2) を求め、表 6-1 の右に示した。この解析法は Morris¹⁰³⁾により世代間増殖率の密度依存性を検出する方法として提案され、増殖率が密度と無関係であれば $b=1$ であり、密度に依存した調節があれば $b<1$ 、さらに密度に逆

依存していれば $b > 1$ となる。

まず典型的な二つの例を示す。図 6-4 は分布の北限に近く、利用可能な年数も比較的多かった山形県の結果である。この県では、越冬世代も含め年間世代数は 3 世代が一般的であり、第 1 世代 ($\log G_1$) と第 2 世代 ($\log G_2$) の関係をみることになる (図 6-4 上)。両者の関係は、傾きがほぼ 1 の直線回帰式で近似されていることから、第 1 世代の誘殺数に比例して第 2 世代の誘殺数が決定される傾向が強いことが示されている。図 6-4 下には第 1 世代から第 2 世代への増加率 (R) の対数値を $\log G_1$ に対してプロットしたが、両者の間には一定の関係は認められない。

図 6-5 には、西南暖地の中から広島県の結果を示した。この地域では、表 6-1 にも示したように、年間世代数は、越冬世代を含めれば年 4 世代が一般的と考えられる。山形県とは明らかに異なり、広島県ではある世代 (つまり第 1 世代または第 2 世代) と次世代 (第 2 世代または第 3 世代) の間には全く関係は認められない。一方、ここではある世代の誘殺数と次世代への増加率の間に顕著な負の関係が認められる。つまり、ある世代の誘殺数が多いほど増加率が低下することを示している。

次に世代間増殖率の密度依存性の指標である b の地理的な傾向を見るために、決定係数とともに誘殺灯の設置された緯度に対してプロットしたものを図 6-6 に示した。 b は高緯度地方では 1 に近く決定係数も高いが、中～低緯度地方では 1 より小さな値をとることが示されている。

もし、世代間増加率の対数値 $\log R$ の $\log G_{n-1}$ に対する直線回帰式の回帰係数 b' を同様に緯度に対してプロットすると縦軸の値が 1 だけ少ない図となる (図 6-7)。これは、 $R = G_n / G_{n-1}$ なので $\log R = \log G_n - \log G_{n-1}$ であり、また、 $\log G_n = a + b \log G_{n-1}$ なのでこれを代入して整理すると、 $\log R = a + (b-1) \log G_{n-1}$ となり、 $b' = b-1$ となるからである。したがって、北緯 38～40° の高緯度地域での b' は 0 に近い値となり、それ以外の中・低緯度地域では、-0.5 程度から -1 前後の値を取る。これは高緯地域では前期世代の誘殺量が後期世代の誘殺量に比例して反映したことを裏返した表現であり、低緯度地域では前期世代誘殺量の多少に反比例した増加率となって後期世代

の誘殺量が決まる傾向を示しているといえる。

6.4. 考察

以上の解析結果は、種の個体数は、その分布の中心域では密度依存的な調節機構により安定しているが、周縁域では、密度に依存しない要因の作用が大きく密度依存的過程からのエスケープが起こるといふ仮説²⁸⁾に、現象的にはよく一致している。低緯度地域におけるツマグロヨコバイの密度依存的調節機構については、九州における久野⁹¹⁾や、四国における Kiritani et al.⁸¹⁾による一連の精力的な研究があり、Miyai et al.¹⁰²⁾はクモによる捕食を、法橋²⁷⁾は分散の役割を重視している。また、Widiarta et al.¹⁴⁸⁾は、インドネシアの水田におけるタイワンツマグロヨコバイ *Nephotettix virescens* は、岡山の水田におけるツマグロヨコバイに比べ強い密度調節作用を示すが、それは高い分散行動によることを示唆した。一方、東北や北陸では、越冬期における低温や積雪量により越冬後の初期世代の発生程度が左右され、それがそのまま後半の世代に反映しやすいことが報告されてきた^{45) 86) 118)}。さらにこれらの地域における気象的要因の重要性は、広域的な同時多発生が起こりやすいという報告^{86) 118)}からもうかがえる。東北地方や北陸地方で、なぜ密度依存的調節が働かないか、あるいは弱い理由はよく分からないが、可能性の一つとして天敵の作用が安定しないことが考えられる。初期密度の不安定さは安定した土着天敵相の形成を困難にし、たまたま暖冬や少雪など越冬に好適な条件がもたらす初期密度の急激な増加は、天敵によっては制御しきれないのかも知れない。表 6-1 で岩手の b の値をみると 1.5 と 1 よりかなり大きく、決定係数は有意である。これは増殖に対して密度逆依存的なプロセスが働いている可能性も示唆しており、これも天敵からのエスケープによって説明できるかも知れない。また、広域的に起こる密度の同時的上昇は、密度依存的分散の意義を低下させる原因ともなるろう。

以上のように、具体的なプロセスは不明な点も残されているが、低緯度地域で作用している生物的調節要因の役割が高緯度地域では低下し、逆に増大する気象的要因による変動性が増し、ついには冬季の

越冬条件が厳しすぎる地帯に至って生息自体が不可能な地域へ移行していくのであろう。なお、著者の解析結果は、後に桐谷⁷⁸⁾や伊藤⁴⁰⁾の著書においても紹介されることとなった。

第7章 総合考察

著者がこれまでに関わってきたイネの害虫のうち4種を取り上げ、個々の研究についてはそれぞれ考察を加えてきた。ここでは、それらに共通する問題として感じたり考えてきた3つの点に絞り、必要に応じて他の稲作害虫にも言及しながら考察を進めることにしたい。

7.1. 寒冷地における稲作害虫の発生特徴と地域性

著者が稲作害虫の研究を行ってきた宮城県は、東北地方の太平洋側中・南部に位置している。日本列島は南北および東西に長く連なっていることから、イネ作害虫の種類には当然のことながら地域性が認められる。のみならず、東北地方に限っても、南北約500kmにおよび、また中央に脊梁山脈が存在するためにその東西の位置によっても気象的条件が大きく異なる。このため気温の違いによる発生時期の違いはもとより、降雪量の違いによる発生量の違い、奥羽山脈が障壁になることによる長距離移動性害虫の飛来量の違いなどが認められる。同じ種であっても、地域が違えば発生時期や発生量はもちろんのこと、その生態さえ異なること、したがって、害虫の

発生予察とそれに基づく防除対策の組み立ても、各地域に根ざしたものであるべきことを痛感してきた。地域によりどのように異なるのか、その実例をみておきたい。

序論で述べたように、東北地方におけるIPM研究の嚆矢ともいえるのは、ニカメイチュウと並んでイネドロオイムシの発生量予測と要防除水準の設定についてのものであった。しかし、発生量の予測では、卵塊密度と幼虫の被害葉率との関係は極めてバラツキが大きく、幼虫生存率が圃場条件によって大きく異なるとされた⁹⁰⁾。東北地方ではないが同じ本州北部の日本海側に位置する新潟県でも、幼虫期間中に突発的な死亡が起こるために、卵塊から幼虫密度を予測することは困難とされた。ここで死亡の原因とされたのは、フェーン現象に伴う乾燥による幼虫死亡、特に若い幼虫ステージにおける死亡であった⁶⁾。秋田県の日本海側の南に隣接する山形県でもフェーン現象がしばしば発生するが、こうしたときには新潟県でみられたようにイネドロオイムシ幼虫の急激な密度低下が観察されるという(布施, 私信)。一方、宮城県の10地点ほどで5年にわたり調べた最盛期の成虫密度または最盛期の卵塊密度と最盛期の老齢幼虫密度(3齢と4齢幼虫合計)の間には高い正の相関の直線回帰式が得られ⁵¹⁾、さらに、水田での卵期以降の生存曲線の調査により、幼虫期間中の幼虫死亡率が新潟に比べてはるかに安定していることが明らかになった(図7-1)⁵¹⁾。生存曲線は、北海道³³⁾、福島県(斉藤, 未発表)、千葉県⁸²⁾でも調べられ、産卵時期や密度による違いも指摘されている

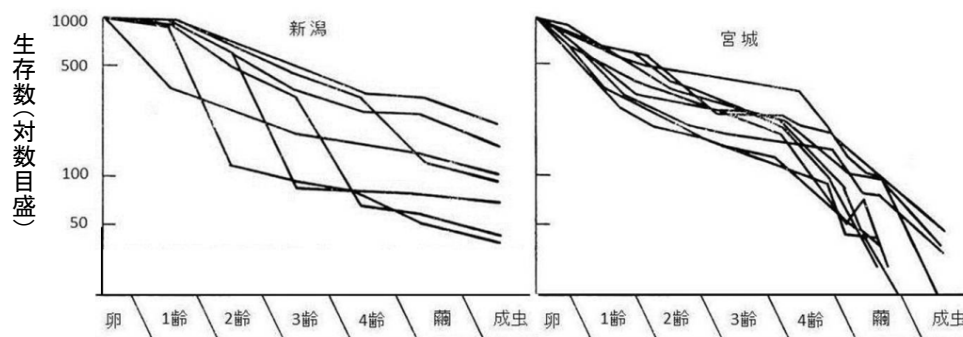


図7-1 宮城県と新潟県におけるイネドロオイムシの卵から成虫までの生存曲線(城所⁵¹⁾を改変)

※新潟は江村・小嶋⁶⁾より防風区の結果を除き、生存数を対数目盛に変換して示す。

が、いずれも新潟県に比べて幼虫期前半の生存率が安定している⁷⁰⁾。イネドロオイムシ幼虫の発生時期は、太平洋側から中国大陸方向に吹き込む湿潤な季節風が卓越するため(気象庁のHPによる)、日本海側ではフェーン現象が起きやすく、太平洋側の地域に比べて本種の発生量予測を難しくしているものと思われる。

イネミズゾウムシでは侵入直後に詳細な研究が行われた愛知県との対比で、田植時期の違いによる被害の起こりやすさの違いや、侵入様式の違いを述べた。後者については、秋田県大仙市における調査では、水田への侵入初期には集中分布するが、50%の個体が飛翔可能となる有効積算温度(飛翔筋発育のための下限温度13.8℃、有効積算温度91日度)の達成率が100%となる時期以降はランダムに近い分布になるとされ、飛翔侵入を前提とした水面施用剤の散布時期が提案されている¹³⁶⁾。しかし、同じ秋田県の大潟村では、本種の分布が畦畔沿いに多いことから、著者が示した育苗箱処理苗の額縁移植が普及しているという話も聞いている(元東北農業試験場、鶴町昌市氏のご教示による)。同じ県内でも、地域や年次による違いがあるのかも知れない。

イチモンジセセリは、宮城県におけるの発生が、南方地域からの移動個体群に由来する可能性を指摘した。東北地方の他県における発生について十分な資料はないが、各県の害虫研究者からの情報等によれば、おおまかにいって東北地方では、太平洋側は南部ほど多く、日本海側ではいずれの県も少ないようである。青森県は太平洋、日本海のいずれにも面した地域があるが、2010年のイチモンジセセリの発生は太平洋側だけで認められている(石谷、私信)。こうしたことを考えると、従来から発生が問題になっていた関東地方などから、越冬世代成虫または第1世代成虫が、奥羽山脈東側の太平洋側ルートを北上して発生する可能性が考えられる。そうだとすると、東北地方各地域における発生量は、越冬可能地域からの距離や移動の容易さ、冬期の気温や積雪などの年次変動に伴う越冬可能地の変動などが複合して決定されるのであろう。

移動性の害虫でも中国からの長距離移動が明らか、あるいは確実視される種類では、イチモンジセセリとは異なり、日本海側での発生が多いことが特徴で

ある。アワヨトウは東北地方のいずれの県でも発生はするが、日本海側に面する青森、秋田、山形の諸県での発生が多く、「日本海側から侵入し、脊梁山脈によって太平洋側への侵入が阻止される」¹¹⁶⁾と考えられている。セジロウンカも同様の傾向が認められ、宮城県を含む太平洋側では実害が発生することはほとんどなく、秋田県が恒常的に発生が問題となる北限地とされる³²⁾。コブノメイガも日本海側で発生が認められることが多く¹²⁶⁾、セジロウンカと同一年次に同一地域で発生したという記録¹⁷⁾があることも、同じ気流の動きが両移動性害虫を運んできたことを示唆する。さらに太平洋側では、障壁となる山脈があると標高の低い鞍部から流れ込むように発生するという報告もみられるが^{4) 133)}、宮城県では多発した同一年次でもコブノメイガが山沿いであったのに対し、セジロウンカは海岸沿いであったという違いも指摘されている¹³³⁾。移動してくる高度の違いなどが関係しているのかも知れないが、いずれにしてもこうした害虫の発生予察では、地域性を十分に考慮することが極めて重要である。

ツマグロヨコバイについては、予察灯による捕獲数データを用いた全国的な解析により、初期密度の変動が後期世代に与える影響が地域によって異なることを示した。個体数変動の様式に地域的な違いがあることは既にツマグロヨコバイでも知られていたが、それを地理的なラインとして示した例は、他の害虫を含めあまりないのではなからうか。それが可能になったのは、世界的にも希な発生予察事業という病害虫をモニタリングする公的なシステムが、第二次世界大戦後整備され、同一の手法により全国で長年実施されてきたことによっている⁶⁵⁾。この事業も人的な縮小や、都道府県別の対象作物や対象種の絞り込みなどにより、全国的なデータ解析は困難になりつつある。せめて、過去に得られていたデータについては、もっと解析と活用が図られる価値があると思う。

コバネイナゴは当年の温量だけでは発生時期を予測しにくい害虫である。まず越冬ステージは卵であることは変わらないが、卵の胚発育ステージが異なる⁹⁾。このため水田への侵入時期は、前年に産卵後の温量が十分にあった年には孵化が揃って早く行われるが、そうでない年には孵化は遅くバラツキがち

になる(城所, 未発表). また, 成虫になるまでに経過する齢数に地理的な変異が認められ, 青森県では成虫までに5齢を経過する個体と6齢を経過する個体がほぼ半分ずつ存在するが, 孵化時期が遅い個体は発育期間の短い5齢経過になりやすいため, 成虫出現時期には大きな違いがない³⁰⁾, しかし, 宮城県の個体群はほとんどが条件に関わらず6齢を経過し¹⁵⁰⁾, 温量の年次変動によって羽化時期にも大きな違いが生ずる⁵⁸⁾. したがって, 茎葉散布剤による防除適期などを判断する場合には, 前年の温量と当年の温量をとともに考慮する必要がある.

地域性だけでなく, 発生量の変化には時代的な変遷も認められることを付言しておきたい. 増減の理由がよく分からない種類も多いが, 耕種法の変化が影響したとみられるものも少なくない. ニカメイガの減少は, 様々な耕種的要因が複合的に作用した結果とされる⁸⁰⁾. その耕種的要因の一つである田植時期は, 多くの稲作害虫に大きな影響を与えたと思われる. そのことは, 機械移植によって, 田植時期が一気に5月中旬ころまで前進した1975年前後に, 東北地方の各地でイネドロオイムシとイネハモグリバエが多発したことに典型的に示されている. イネヒメハモグリバエでは, さらに田植の早期化を待つて多発することになる. これらの多発は, マコモなどの野生の寄主の萌芽期に同調した生活史を成立させてきた昆虫が, 苗代のように点在する寄主でなく, 広域的に利用できる餌資源を得たことに起因すると考えられる.

イチモンジセセリは, 逆に, 田植が遅かったり何らかの理由でイネの生育が遅れた場合に多発しやすい. それは被害の原因となる第2世代幼虫の発生をもたらす第1世代成虫の産卵時期に, 一般の移植時期に比べてイネの葉色が濃いために産卵選択されるためと考えられる^{55) 56)}. 田植時期の変化は, 発生量だけでなく被害の発生しやすさにも大きな影響を与えたことはイネミズゾウムシで示したとおりである.

このように, 今回取りあげた4種の全てが, 田植時期と密接な関係があり, それは他地域での発生と共通の発生要因となる場合もあるが, むしろ地域性をもたらす要因となっていることに注目したい.

7.2. 要防除水準設定の意義

東北地方に限らないが, 水稻のIPM研究といえば, 対象は害虫で, 研究内容は要防除水準(以下CTとする)の設定という場合が多かった. それには幾つかの理由がある. イネの代表的な病害虫のほとんどは, 収穫物である玄米に対して間接加害型有害生物であり, このため作物の補償作用(耐性的反応)により, 実害を生じない発生程度(すなわち許容できる密度)が大きい. さらに, その発生程度を確認することが可能なほどの大きさをしていたり, 目立つ食害痕を残すものが多い. また, 特に寒冷地では世代数が少ない種類が多く, 個人的見解かも知れないが発生経過が緩慢かつ安定していて, 当年内では発生量の予測がしやすい種類が多い. これらの条件がCTの設定を可能にするが, いまあげた条件に合致しないのは, 主要種では斑点米カメムシ類(特にカスミカメムシ類)くらいと思われる.

東北地方におけるCTの研究は, 秋田農試の小山重郎が, ニカメイガ⁸⁵⁾とイネドロオイムシ⁹⁰⁾を対象に実施したのが初めであることは既に述べた. これらは, 新潟農試によるイネドロオイムシのCT設定に関する一連の研究⁸⁵⁾と並んで, IPMを意識的に水稻の害虫管理に適用した研究として, 全国的にも先駆的なものであった. 秋田県では, これらの成果は直ちに, 県の病害虫防除基準に反映されることになったが, それはこれらの研究が, 農薬の航空散布に伴うカイコやミツバチ被害をできるだけ回避したいという, 行政を含む現場からの強い要望に基づいて実施されたためである⁸⁹⁾. この当時, 東北地方の他県では, CTを研究したり, それを県の指導事項に盛り込むような雰囲気はほとんど無かったと思う. 個人的な経験をいえばCTの結果を普及に移すのは難しく, 1980年ころ県内の成績検討会でイネドロオイムシの要防除水準を普及に移すことを提案したとき, 他分野の研究者や研究管理部門の担当者からは, 5%の減収といっても県全体ではたいへんな損害になる, あるいは墮農を奨励する技術だという意見すらあった.

こうした状況を一変させたのは, 東北地方に分布を拡大したイネミズゾウムシである. 1982年に岩手, 宮城, 山形, 福島各県で, 1983年には青森, 秋田

の両県でも発生が確認された。本種は温量の少ない寒冷地稲作では、特に大きなダメージを与えるだろうとの認識が多く、発生が確認されれば、程度に関わらず薬剤防除が督促される傾向が強かった。しかし、広く定着するようになると、どのくらい発生した場合に防除すべきかが、改めて問題となった。当初、効果の高い薬剤がなく、国の補助も、粉剤使用

を前提にしていたので金額が低いうえに、地域をあげて粉剤を散布するような体制も既になかった。こうしたことから、市町村や農協の担当者にとっても、防除の判断基準が切実な問題になったのである。ほとんどの県の農業研究機関でイネミズゾウムシのCT設定の試験が実施されるとともに、他の害虫を含めてCTが広く認知される契機となった。

表7-1 東北地方における病害虫の要防除水準の設定状況（城所⁶⁵⁾）

| 病害虫名 | 県名 | 判断時期 | 判断対象 | 要防除水準 |
|------------|--------|-----------|-------------------|---------------------|
| イネヒメハモグリバエ | 秋田 | 産卵盛期 | 卵数 | 1.5/株 |
| | | 〃 | 産卵株率 | 50% |
| イネドロオイムシ | ○岩手 | 産卵盛期 | 卵塊数 | 0.5/株 |
| | | 前年産卵盛期 | 〃 | 0.12/株（育苗箱施用広域使用地帯） |
| | ○宮城 | 侵入盛期 | 成虫数 | 0.25/株 |
| | | 産卵盛期 | 卵塊数 | 0.8/株 |
| | ○秋田 | 産卵盛期 | 卵塊数 | 0.5/株 |
| ○山形 | 産卵盛期 | 卵塊数 | 1～2/株 | |
| | 福島 | 加害時期 | 老齢幼虫数 | 10/株 |
| | | | | |
| イネミズゾウムシ | ○青森 | 5月第6半旬 | 被害株率 | 62%（食害度なら18） |
| | | 6月第1～2半旬 | 〃 | 82%（食害度なら25） |
| | ○岩手 | 成虫侵入盛期 | 成虫数 | 0.3/株 |
| | | 前年成虫侵入盛期 | 〃 | 0.12/株（育苗箱施用広域使用地帯） |
| | ○宮城 | 成虫侵入盛期 | 成虫数 | 1.3/株（1%減収の場合） |
| | | 同5日後 | 食害葉率 | 30%（1%減収の場合） |
| | ○秋田 | 6月上旬 | 成虫数 | 0.3/株 |
| | | 〃 | 被害株率 | 90% |
| ○山形 | 随時 | 成虫数 | 稚苗0.5, 中苗0.7/株 | |
| | 福島 | 侵入盛期 | 成虫数 | 0.4/株 |
| 斑点米カメムシ | 岩手 | 出穂期～乳熟期 | 成虫数 | 1/20回すくい取り |
| | 福島 | 穂揃期 | 成虫数 | 2/20回すくい取り |
| ツマグロヨコバイ | ○宮城 | 第1世代羽化盛期 | 成老齢虫数 | 50/20回すくい取り |
| | | 第2世代成虫盛期 | 〃 | 1,500/20回すくい取り |
| | 福島 | 出穂期 | 成幼虫数 | 16/株 |
| | | 乳熟期 | 〃 | 24/株 |
| セジロウンカ | ○秋田 | 成虫侵入盛期3日後 | 成虫数 | 0.3/株 |
| | | 同3週間後 | 中老齢幼虫数 | 15/株（粘着板法では幼虫35頭） |
| | ○山形 | 随時 | 幼虫数 | 10/株（払い落とし法） |
| コバネイナゴ | ○山形 | 7月上～下旬 | 幼虫数 | 100/20回すくい取り |
| ニカメイガ | ○青森 | 1化地帯 | 被害株率 | 4%（通常2回散布を1回に） |
| | | 第1世代 | 葉鞘変色茎率 | 12% |
| | ○秋田 | 第2世代 | 心枯茎率 | 3% |
| | | 第1世代 | 田植後40～25日 | 葉鞘変色茎数 |
| 葉いもち | 岩手 | 急増期 | 病斑数 | 0.1～1/株（防除開始時期） |
| | 秋田 | 6月1日～7月末 | 病斑 | 第2世代出現期前後（防除開始時期） |
| 紋枯病 | ○岩手 | 穂ばらみ期～出穂期 | 発病株率 | 早生：15%，晩生：20% |
| | | 〃 | 〃 | 〃 |
| | ○宮城 | 穂ばらみ期 | 発病株率 | 早生・中生：15%，晩生：20% |
| | | 〃 | 〃 | 〃 |
| ○山形 | 穂ばらみ後期 | 発病株率 | はえぬき：10%，ササニシキ7% | |
| | 出穂期 | 〃 | はえぬき：15%，ササニシキ10% | |

注：○は各県病害虫防除基準，その他は平成9年度北海道東北地区植物防疫協議会資料による。

表 7-1 に、東北地方の各県における各種稲作病害虫の 2005 年当時における CT の設定状況を示した⁶⁵⁾。病害は一般に初期の発生が確認しにくいことや、症状が急激に進むために要防除水準を設定することが難しいとされているが、比較的病勢進展がゆるやかな紋枯病において 3 県で要防除水準が設定されている。葉いもちでも 2 県が要防除水準を示しているが、これは最初の防除を開始する時期の判断基準を意味しており、防除するかしないかという判断基準とは少し違っている。害虫では 8 種類が挙げられているが、イネドロオイムシは 5 県、イネミズゾウムシについては東北地方の全ての 6 県で設定され、福島県を除き病害虫防除基準に採用されている。また、イネミズゾウムシのモニタリングの対象は成虫の密度、被害株率、食害葉率、食害度などの違いがあり、時期は暦日、成虫の侵入時期、あるいは特に時期を明示しない(随時として表には示した)などの違いがある。それぞれの県における様々な経緯や工夫が感じられる。

ところで、IPM におけるキーワードの一つは経済的被害許容水準 (EIL) である。足立・中筋²⁾による難しい定義があるが、ここでは経済性も考慮して防除した方がよいと判断される有害生物の最低密度としておこう。発生経過が緩やかな種類では、EIL に達する直前まで待つて防除判断することも可能であるが、一般には時間的な余裕をみて、事前の発生量や生育ステージで防除判断をすることになる。もともと IPM においては、EIL が決まり、これが時間的にさかのぼって CT という基準になる。ところが、実は先に紹介した小山⁸⁸⁾や小嶋・江村⁸⁵⁾の CT 設定では、経済性は考慮されず、減収開始密度⁶⁸⁾を基準に CT が決定されている。経済性を考慮すると、どの経費までをコストに含めるかとか、使用する農薬の種類や農産物価格により値が変動するという問題を生ずる。水稻では、5%の減収を許容するという便法に従うことも多いが、基準さえ明確であればどちらでもかまわないと著者は考える。農家自身が減収許容レベルを決めて判断する方法については後述する。いずれにしても、CT が設定される最も大きな意義は、これまで全く判断基準がなく、ともすれば叫ばれ続けてきた徹底防除という掛け声に対し、防除のための何らかの判断基準が提供されたことに

あると思う。したがって、設定された CT も、あくまで防除判断の目安程度に扱われるべきであろう。

CT をせっかく設定しても、農家が利用しないという声がしばしば聞かれる。本当に CT が農家に利用されていないか、ということについても考えてみたい。確かに、農家が実際に水田に入り、有害生物の発生程度を調査して防除判断することは、一部を除いてほとんどないといえるだろう。しかし、それでも最終的には、CT はかなりの農家により採用されていると考える。イネドロオイムシでは、わずかな食害も嫌う農家が存在する一方で、見た目にはかなりの食害痕が発生していても、「後で直るから」といって防除しない農家が以前から存在した。イネミズゾウムシでは、その被害をかなり警戒したのだが、典型的な被害とされる生育ムラや欠株などの被害はほとんどみられなかった。やがて、農家や JA の営農指導員たちからも、言われているほどの被害は出ないようだという声が強まり、実際に防除しない農家も多くなっていった。宮城県では侵入の数年後に CT の設定が行われていたが(永野ら、未発表)、移植後すぐに成虫放飼をしていることと、冷害気味の年次の試験であったことから被害が発生しやすい条件であったことはイネミズゾウムシの項で述べた。再検討の結果、田植時期によって CT は大きく異なり、田植が早く、加害時期は遅い宮城県では、普通の移植時期であればほとんど被害は発生しないことが分かった。この場合も、多くの経験に基づく現場での判断(経験的 CT の利用)が先にあり、研究結果はこれを裏付ける形で後押ししたものと考えている。宮城県では、発生が少なすぎて、もはや防除対象として意識にもとぼらないニカメイガやイネゾウムシ、あるいは元々害虫としての認識度が低いコバネイナゴ⁷²⁾などを考えれば、農家が無意識あるいは経験的に判断している CT は、意外に多いと考えている。

ところで、イネでは減収率 5%を被害許容水準とすることが多いため、ここでもこの基準により要防除水準を求めた。しかし、防除コストは薬剤の種類や施用方法で異なるために厳密には基準の根拠となる経済性も異なるうえに、農家の中には心情的に減収自体を認めたくないとする場合も多い。このため、イネミズゾウムシでは既に示した成虫密度による減

収予測式から減収率3%、1%、0%の時の成虫数も求め、5%の結果とともに田植時期との関係で要防除水準の変化を求めた(図7-2)。特に5月第2半旬移植では、許容する減収率により要防除水準の違いが大きい。また、イネミズゾウムシは水中の生息数が多いため防除の判断がしにくい場合も考慮して、侵入最盛期5日後の被害葉率によって判断することもできるようにして(図7-3)、宮城県の「農作物病害虫・雑草防除指針」に採用している。さらに、侵入後しばらくの間は、新規の発生地を確認するために食害痕の特徴による判別が求められたため、図7-4に示した識別法を示した。その後、この食害痕の図は防除要否判定のためのモニタリングツールの一つ

としても一定の貢献をしたようで、他地域で発行された農作物害虫の図鑑²³⁾においても、それぞれの害虫別に著者の図が引用されている。

作物や加害される生育ステージ、気象などの条件を特定して設定されたEILを固定的EIL(Static EIL)と呼ぶ。これに対し、Shoemaker¹²⁹⁾は、そうした条件が変化するなかでEILも変化するものとして捉え、これを動的EIL(dynamic EIL)と呼び、例としてダイズ生育に伴うチョウ目害虫、green cloverworm(*Plathypena scabra*)のEIL変化¹²³⁾を示した。わが国でも、城所・前田⁷¹⁾が、やはり成熟期の異なるダイズ品種を用い、様々な時期にマメドクガ、*Cifuna locuples confusa*、が加害したときのEIL変化を切葉

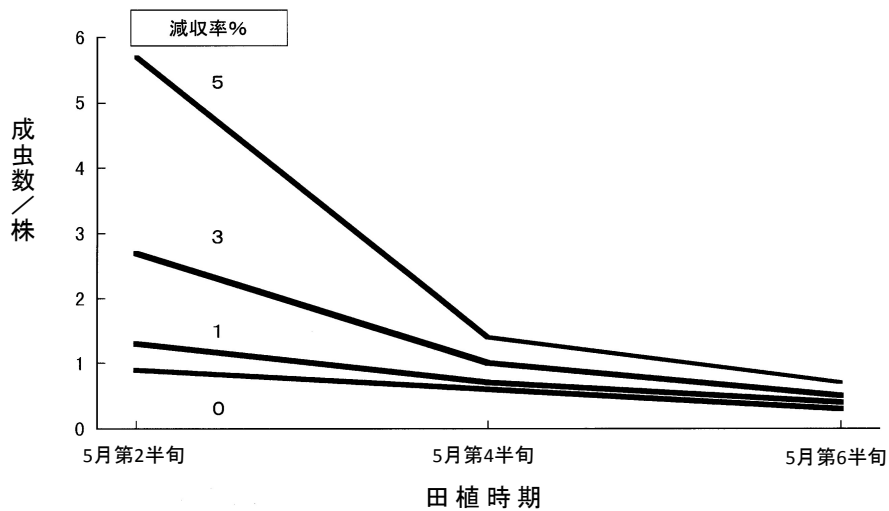


図7-2 イネミズゾウムシで異なる減収率を許容したときの田植時期による要防除水準(成虫数/株)の変化

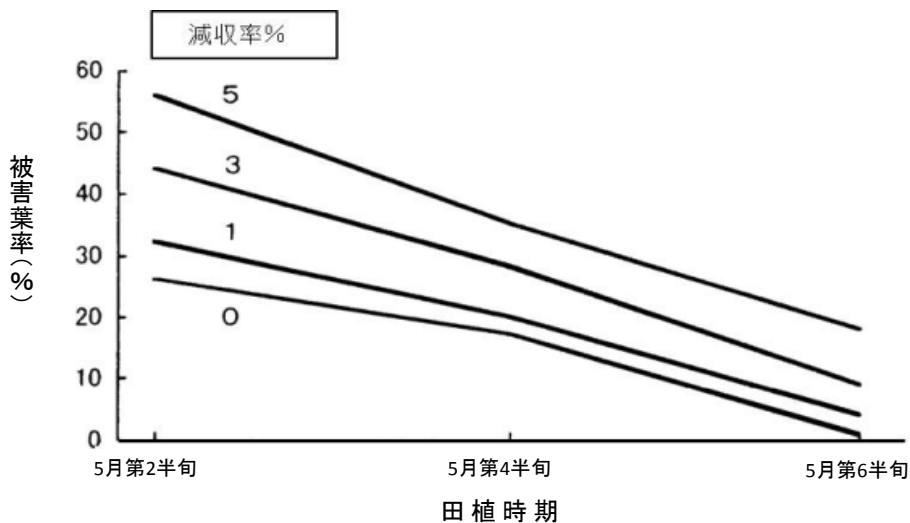


図7-3 イネミズゾウムシで異なる減収率を許容したときの田植時期による要防除水準(侵入最盛期5日後の被害葉率)の変化

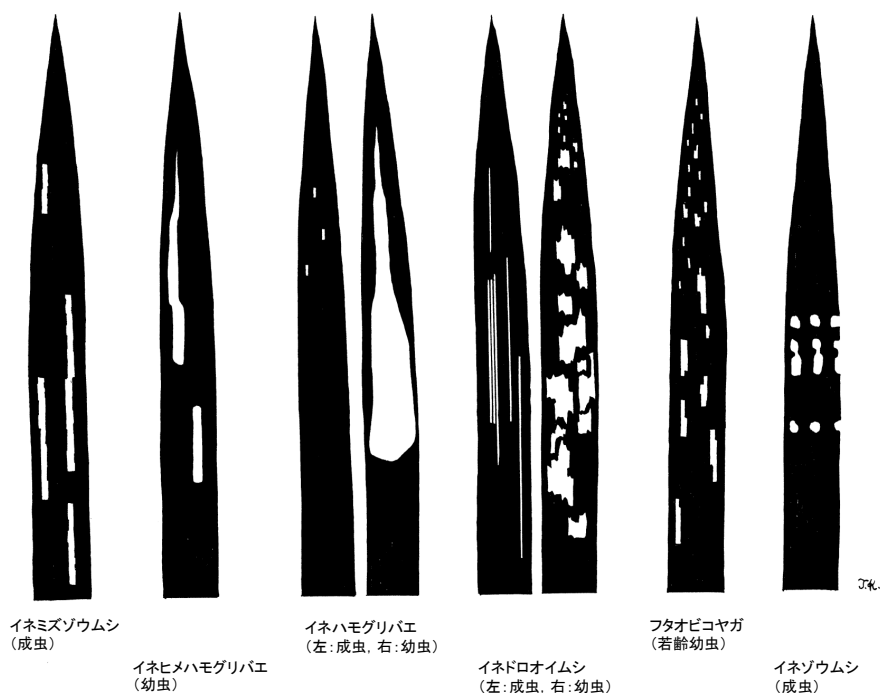


図7-4 各種の水田初・中期害虫による葉の食痕 (城所⁵²⁾)

試験により示したものがあがるが、こうした研究は、わが国ではほとんど行われていない。動的 EIL あるいは時間依存的 EIL は、作物の生長モデルと害虫個体群の動態モデルなどが開発され、それらを統合したシステムの中で評価されるのが理想的かも知れない⁶⁸⁾。今回イネミズゾウムシで示した田植時期と EIL の関係は、そうした意味では初歩的な試みに過ぎないが、田植時期の違いをイネ生育ステージの違いと関連させ、EIL が大きな変化をすることを示した点で、やはり動的な EIL 設定の試みと考えている。

7.3. 農薬の育苗箱施用法と減農薬防除

農薬の育苗箱施用法は、考案されてから既に 35 年以上の歴史がある。水稻病害虫の防除体系におけるその位置づけは、時代とともに変化しているが、最近では、主要な病害虫を 1 回の処理で防除できる方法として広く普及している。今後この方法が農薬による水稻病害虫防除の中心的存在であり続けることは、揺るがないと思う。そのため、今回の著者の研究対象としてはごく一部を占めるに過ぎないが、重要なテーマとして論考の対象としたい。

育苗箱施用法は、それまで成苗を手植していた移植方法から、より若いステージの稚苗ないし中苗と呼ばれるイネ苗を育苗箱で育て、田植機によって移

植する技術が開発されると間もなく考案された。この方法は、浸透移行性がある殺虫剤（主に粒剤）を移植直前の育苗箱の苗に処理し、本田初期害虫と呼ばれるイネの生育初期に発生する害虫やツマグロヨコバイのようにイネの生育初期に病害を媒介するのを防ぐのが目的であった。その後、侵入害虫のイネミズゾウムシにも卓効を示すカーバメート系の薬剤が開発されたのに続き、長距離移動性ウンカ類やイナゴ類、ニカメイチュウ、コブノメイガといったイネの生育中期以降に発生する害虫にも効果が高く、さらに、いもち病や紋枯病にも効果の高い長期残効性の薬剤が開発されるに及び、稲作病害虫の最も重要な防除技術となった⁶²⁾。特に長期残効性農薬の施用法がもつ有利性は次のようなものである。農家にとってのメリットは、なによりもこの処理により、移植後に発生するほとんどの主要病害虫の防除が可能なことである。特に東北地方では、葉いもちに対して長期に安定した効果を示す薬剤が登場したことは極めて画期的であり、これにより、本施用法が水稻病害虫防除の中核的存在となることを不動のものとした。穂いもちまでターゲットにできる薬剤も、既に開発されている。主要種でまだ効果が十分といえないのが斑点米カメムシ類であるが、既に登録をとった薬剤もあり、将来的にはより効果の高い薬剤

が開発される可能性がある。

さらに利点を列記すれば、移植後の薬剤散布に比べてはるかに省力的で、処理量がそれほど多くなければ、特別な器具なしでも施用できる、他方で、大量処理に適した播種同時施用が可能な薬剤や散布装置も開発されている。様々な殺虫、殺菌成分の組み合わせが可能で対象種や価格、処理時期などに関しても、多様な薬剤の選択が可能である。環境負荷軽減に関しては、面積当たりの薬剤投入量が少ない、一般に系外への影響（生物影響を含む）が少ない、などがあげられよう。

一方、欠点としては次のようなものがあげられる。この施用法が登場した当初から指摘されているのは、予防的な方法であるため、当年の発生予察情報やCT設定の成果が活用されないということであった。その後、特に現在の長期残効性の薬剤が普及する中で生じている問題として、これまで育苗箱処理剤を使用していなかった地帯が新たにいもち病をメインターゲットに導入を図る場合、不必要とも思える殺虫成分を含む混合剤を選択することが多くなっている。また、先に本施用法のメリットとして系外への影響が少ないとしたが、系内に関しては非標的生物への影響が大きい薬剤も存在する¹⁹⁾⁴⁹⁾。さらに、本処理法特有の問題ではないのだが、同一の育苗箱施用剤

が極めて広域的に使用される状況が生まれており、生物保全だけでなく、薬剤抵抗性害虫・耐性菌対策上も大きな問題と考えられる⁶⁴⁾。

予防的な防除法であるため、不必要かも知れない防除が実施され続けやすいという欠点を改善するために考えられたのが、隔年施用法と粉剤など他の剤形では既に実施されてきた部分防除法の一種、額縁防除である。隔年施用法は、東北地方の稲作害虫の多くが年に1化または2化と世代数が少なく、いったん密度を低下させれば、防除圧を低下させても急激に密度が増加することはない、という考えに基づいた減農薬的防除方法である。山形県庄内地方では、フィプロニル剤の普及率が高まったが、同法による防除を中断しても、数年間はイネドロオイムシ、ニカメイガ、コバネイナゴなどの害虫発生が顕著に低下することが分かった。そのため、単年度ごとに計画されてきた防除体系を複数年単位で考えることとし、「1年使用し、2年中断する体系」あるいは「2～3年使用し、3年中断する体系」などの防除指導が行われ実際に実施された¹⁴³⁾。

また岩手県では、イミダクロプリドによる育苗箱施用を広域的に実施後に、無防除とした地域の追跡調査を実施したところ、イネドロオイムシとイネミズゾウムシの発生は、2～4年間はCTを越えなか

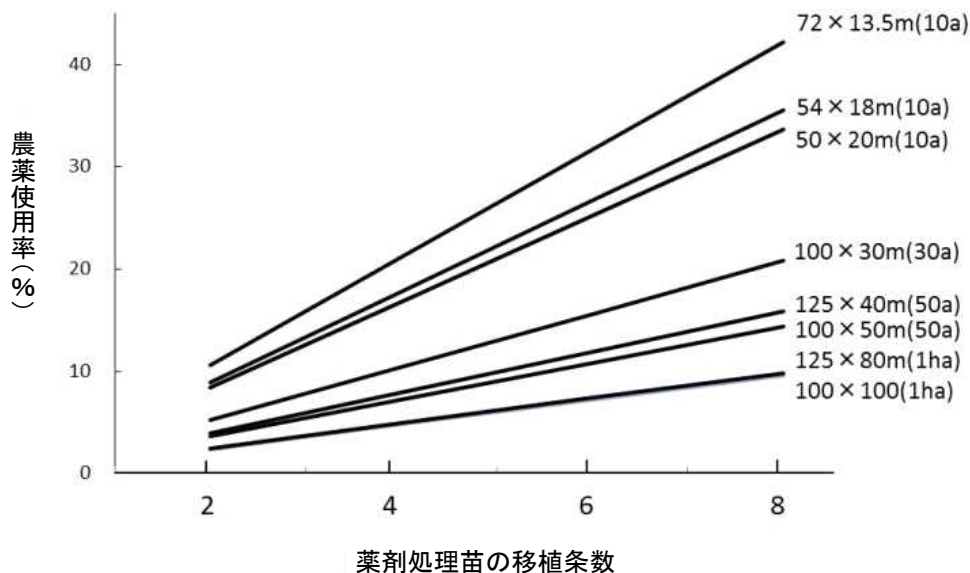


図 7-5 様々な面積と形状の水田における薬剤処理苗の額縁状移植条数と全面移植したときの農薬使用率（城所⁶²⁾）

注：図中の数字は、水田の長辺と短辺の長さおよび面積

った。このことから、同施用法により広域防除した翌年は無防除とし、その後はモニタリングを継続して当年の発生がある基準値(表 7-1 参照)を越えた場合にのみ、再び同処理法を導入することで農薬使用低減が図れるとした¹⁸⁾。これは、より長期的な CT を設定することで、予防的な使用法となる育苗箱施用法の欠点を克服したものである。

畦畔などに生息していた害虫が、徐々に水田内部に侵入するような場合、まだ水田周縁部に生息する時期をねらって粉剤などを散布する方法が、イナゴ類や移動能力の小さい斑点米カメムシ類などで行われてきた。散布された部分を上からみた形状からの連想で、額縁散布と呼ぶのが一般的である。こうした使用法が、育苗箱施用した苗を水田周縁部に移植することによっても可能なことが、今回報告したイネミズゾウムシやコバネイナゴで示された⁶¹⁾⁷³⁾⁷⁴⁾。病害では、紋枯病の発生が初期に畦畔沿いに多いことがよく知られており、発生初期に粉剤等による畦畔際の防除が奨励されることがあった。早坂²¹⁾は収穫時期に近い9月15日ころに、山形県庄内地方の多発圃場で畦畔からの条数と発病株率を調べたところ、このような時期でも畦畔際の10条程度に被害株が集中していたことから、この部分を防除するだけで次年度の感染源を効率的に減らすことが可能と結論した。したがって、いもち病と紋枯病に有効な成分を含む育苗箱施用剤を水田周縁部だけに使用し、それより内部にはいもち病だけを対象とした育苗箱施用剤を使用することで、防除コストの低減を図るといった使い方もできる。

ところで、額縁防除を行った場合、水田全体に薬剤を使用した場合に比べてどの程度薬剤使用量を軽減したことになるのか検討してみたい。まず、標準的な移植間隔である畝間 30 cm、株間 15 cm で移植する場合を考えると、 $1 \text{ m}^2/0.3\text{m}/0.15\text{m}$ で栽植密度は m^2 当たり 22.2 株となる。水田の2つの辺の長さを a および b とすると、これを足して2倍したものが水田外周の長さとなる。これを株間 0.15m で割れば外周1条に移植される株数が求められ、さらに全面積に植えられる株数 ($a \times b \times 22.2$) で割り、その値に額縁状に植える条数 (n) を掛けることで、額縁移植率 P (= 農薬使用率) が求められる。すなわち

$$P = \{2(a+b)/0.15/(22.2ab)\} n$$

これを整理して

$$P=0.6n(a+b)/ab$$

P は a と b が決まれば、 n だけを変数とする比例式となる。実際には、畦畔から内部に植えるほど一辺の長さはしだいに短くなるが、これを考慮すると計算式が複雑になることと、水田サイズがあまり小さくなければその影響は小さいため、この式を用いて様々な大きさや形状の水田の、全面移植と比べたときの農薬使用率を、額縁移植条数との関係で調べてみた。検討対象としたのは、基盤整備した水田に一般的な面積と形状のものである。

基盤整備後に一般的な水田の長辺と短辺を面積別に述べると、10a 区画が $72 \times 13.5\text{m}$ 、 $54 \times 18\text{m}$ 、 $50 \times 20\text{m}$ である。30a は $100 \times 30 \text{ m}$ 、50a は $100 \times 50 \text{ m}$ と $125 \times 40 \text{ m}$ 、1 ha は $125 \times 80 \text{ m}$ と $100 \times 100 \text{ m}$ である。10a 区画で半端な長さの区画があるのは、尺貫法で長さが決められていた1950年前後の規格である (30×10 間と 40×7.5 間)。以上のような様々なサイズと長辺と短辺の長さが違う条件で、額縁移植による農薬使用率(対全面使用)がどのように変化するかを、処理苗の移植条数を2条から8条まで変化させたときの農薬使用率を求め図示した(図 7-5)。

処理苗の植付け条数が増えれば、当然農薬使用率は増加するので、右上がりの直線となる。しかし、その傾きは水田のサイズや形状の影響を受ける。まず水田サイズとの関係では、10a、30a、50a、1ha と大区画の水田になるほど、同じ額縁移植条数なら農薬使用率は小さくなる。ただし、面積の広い水田ほど額縁移植条数を減らしても、それほど農薬使用割合は減少しない。別の言い方をすれば、小さな水田になるほど、額縁移植による農薬使用率は大きくなるが、額縁移植条数を減らすことで農薬使用率は急激に減少する。

次に水田の形状、つまり細長いか正方形に近いかということとの関係でみると、同じ 10a の水田でも正方形に近い水田ほど額縁移植条数なら農薬使用率は小さくなるが、額縁移植条数を減少させることによる農薬使用率の減少程度は細長い水田に比べ小さくなる。これも別の言い方をすれば、細長い水田になるほど、額縁移植による農薬使用率は大きくなるが、額縁移植条数を減らすと、正方形に近い水田に

比べ農薬使用率は減少しやすいということが出来る。しかし、図から読みとれるように、現実に存在する水田では、形状による違いは、水田面積の違いが与える影響ほどには大きくない。

以上の結果から、額縁移植の条数を減らすことによる農薬使用量の減少程度は、小さくて細長い水田ほどそのメリットが大きく、とりわけ面積の小さな水田での貢献度が高いといえる。コバネイナゴは、処理苗を2条程度移植しただけでも効果が高く、そうした例に該当すると考えられた⁷⁹⁾。

イネミズゾウムシでは、歩行侵入が主体となる地域では、これを利用した物理的防除が可能であることが明らかになった。著者は、水田の水漏れを防止するために畦畔から1畝目と2畝目の間に波板（アゼシート）を差し込んだ栽培研究者の試験圃場で、波板の外側のイネにはイネミズゾウムシ成虫の食害痕が多数発生しているのに、内側（より水田内部）にはほとんど食害痕が発生しないことを観察した。また、イネミズゾウムシ成虫の行動を観察する目的で、イネ10株ほどをエスロン板で丸く囲い、その中に成虫を放飼して観察したところ、日時が経過してもあまり個体数が減少せず、エスロン板が障壁となりその内部に留まっている個体が多いと思われた。こうした観察から、農業雑誌から農薬に依らないイネミズゾウムシ対策の解説を依頼されたときに、畦畔の内側にアゼシートを埋め込むことで物理的に侵入を抑制できるかも知れないことを紹介し⁶⁶⁾、さらに、東北地方における稲作害虫のIPMを解説する中でも触れた⁶⁷⁾。このときには実証的なデータを示すことができなかつたが、最近、福島県において詳細な検討が行われ、水面から高さ15cm程度の物理的障壁を設けることで、その内部への成虫侵入数を実用上問題ないレベルまで抑制できることが明らかにされた¹⁰⁰⁾。資材費や設置労力がかかる点が問題とされるが、より簡便な方法の開発と、イナゴ類など他の稲作害虫への適用も考えられよう。

7.4. おわりに

最後に、発生予察とIPMの研究や普及について感じてきたことを幾つか付け加えておきたい。

発生予察では、地域性を考慮すべきことを強調し

たが、それは他の都道府県との違いに留まらない。「農作物有害動植物発生予察事業」における都道府県の発生予察情報でも、可能な場合には地域性（平坦地と中・山間地、北部と南部など）を加味した情報提供も行われるが、調査地点数が限られることから地域区分には限界がある。しかし、広域予察精度をいくらか高めたとしても、より小地域や個々の圃場における害虫の発生程度は、必ず平均的予測値からの偏りを伴うものである。もしある害虫に対して「今年は発生量が多い」という広域予察情報が機械的に地域全体の防除判断に適用されるなら、実際には小発生の側に偏った地域や圃場に対しても不要な防除が督促されたり実施されることになる。逆に、「発生量が少ない」という情報に対しては、適切な防除をできない状況が生まれることも考えられる。このため、広域予察情報だけでは現場の害虫管理に役立てる情報としてはおおまかすぎ、より小地域や個々の圃場を単位としたフィールドベースの発生予察が行われる必要がある¹⁰⁶⁾。

新潟県では農業共済組合が主体となり、市町村を単位とした水稲病害虫の発生予察が行われている。市町村にはその規模に応じて40～170の調査圃場（県全体では6,000地点以上になる）が系統抽出され、市町村、農協、それに農業者自身が参加した調査が実施される。結果は直ちにパソコンなどで集計され、調査者全員による検討を経て、防除要否の決定、防除時期や使用薬剤の変更、緊急防除の実施などの意志決定に役立てられている¹⁵²⁾。共同防除や協定防除など、ある程度の地域的なまとまりで防除の意志決定をするうえで合理的方法と考えられる。

さらに進めて、個々の圃場、耕種法、品種などによる発生量の違いに適切に対応するには、発生量のモニタリングと予測は、防除主体である農家自身が行う必要がある。もともと広域予察情報は、個々の農家にとっては、その判断を助ける参考情報と考えるべきであろう。農家による発生予察が、必ずしも実施されていない原因は種々考えられるが、技術的な面からいえば、簡便なモニタリング法や、得られた結果を将来予測に結びつける判断基準が十分に提供されていないことがあげられる。イネのウンカ類や天敵類を、「虫見板」と呼ばれる20×30cm程度の

黒いプラスチック板に払い受け、その観察と経験の積み重ねにより、農家自身が防除要否の判断を進めたり、農生態系への理解を深めようという運動の提唱⁴⁵⁾は、一つの解決方向として注目される。

以上のように発生予察が、農薬の使用を必要最小限に留めるための技術としても貢献するには、広域予察は天気予報における降水確率のように、害虫の発生確率も含めて情報提供されることが期待される。また、これを参考にしながらも、より小地域の生産者集団や個々の農家が、各地域や圃場のモニタリングに基づいて防除の意志決定を行うという、いわば多段的予察方式の構築⁷⁾が望まれる。

次に IPM について私見を述べたい。IPM では、単一種に対する複数防除手段の統合が重要とされてきた。水稻ではいもち病や斑点米カメムシ類のように被害が大きく、しかも難防除の有害生物を対象としたときには、単一種の IPM 研究も意味があるかも知れない。しかし、従来から農薬を使用すれば容易に防除が可能な例えばイネドロオイムシに対して、総合的な管理法が確立しても、それを農家が受け入れるとは思えない。IPM は最終的には総合的作物管理技術 (Integrated Crop Management) の一部として農家に提供されなければならない。とりわけ耕種的手法などを含む技術体系では、病害虫以外の専門家を含む、分野横断型研究として進める必要がある。

これまでも、農薬に依存しないで病害虫の発生を抑制する、多くの方法が提案されてきた。有効な防除対策が少ない時代に研究が進み、塩水選のように未だに基本的な技術として奨励されているものもある。しかし、効果の高さと安定性に優れる農薬の登場以来、こうした技術の多くは忘れられた。環境負荷を軽減するとして、これらの技術がリバイバルしているとも言えるが、広く普及する技術となるためには、農薬に対抗できるだけの効果の安定性、処理の簡便性、経済性、市場性などを意識的に追求する必要がある。病害分野では、農薬に代わる種子伝染性病害の防除法として温湯浸漬法が宮城県などで広く普及したが、これらの条件を満たすことがなければ、急速な普及は不可能であった⁶⁵⁾。また、病害分野では、IPM の実現は困難であるとみられた時代もあったが、農薬に代わる防除手段の開発では、温湯

浸漬法以外にも拮抗微生物による種子伝染性病害の防除法や、プール育苗法による育苗期病害の抑制、抵抗性品種によるいもち病対策など、害虫分野より開発が進んでいる⁶⁵⁾。今後、害虫分野でも防除手段の開発が重要と考えるが、とりわけ土着天敵の利用を進めるために、その密度を高める生息地管理が重要と考えている。また水田は、湿地環境を好む生物の好適な生息環境でもあることから、IPM の視点だけでなく IBM (総合的生物多様性管理)⁷⁹⁾ の視点から水田の生物を総合的に管理する方途を研究していく必要があるだろう。

IPM の中で、化学合成農薬をどのように位置づけるかも、一般論ではなく個々の薬剤や施用法に即して、具体的に検討していく必要がある。元々 IPM が農薬の使用を排除するものでないことは、わが国で IPM を推進してきた中心的立場の研究者によっても繰り返し強調されている¹⁰⁸⁾。農薬は、広範囲に使われることによる影響力の大きさを考えれば、目的外の影響や未知のリスクへの警戒、本来そこに無かったものを環境に付加することへの慎重さなどが、とりわけ厳しく求められてもよいものだと思う。しかし、IPM 登場の背景となった、広い生物活性や残留性に由来する、野生生物への影響、人畜毒性といった否定的側面は大幅に改善されている。また、環境負荷といっても、どんな切り口で何を問題にするかにより、むしろ農薬自体やその施用法のさらなる改善が、問題解決を早める場面も多いと考えられる。生物保全という観点から考えれば、アイガモ農法や機械除草機が田面に生息するヤゴやユスリカ類に与える影響は大きいのだが、こうした技術はそれほど広範囲に普及することがないために、環境負荷が問題にされることがないのである。非合理主義的あるいは反科学論的立場からの近代農法や化学合成農薬の否定ではなく、サイエンスとしての総合的有害生物管理 (IPM) が発展することがますます求められている。

要 約

本研究は、著者が東北地方の太平洋側中・南部に位置する宮城県で、発生予察法や防除法について検討した稲作害虫のうち、5 種類について取りまとめた

ものである。

1. イネヒメハモグリバエは長い少発生状態の後に、時折、突発的な多発生が起こるようになった。現在一般的な5月上旬から中旬の田植えの範囲では、田植時期が早いほど被害が大きかった。また、例外的に遅い6月上旬に田植えされた場合も被害が大きかった。成虫の発生活長を粘着トラップにより調べると、4月下旬と6月上旬に発生のピークとなった。本種の成虫は、移植直後にできる水面に垂れたイネの葉に好んで産卵する。このため、5月の早い時期の移植や極端に遅い移植は、成虫の1回目あるいは2回目の発生時期と一致して多発したものと推論した。成苗を手植した時代から、稚苗または中苗を機械移植するようになった時代に至る田植時期の変遷、すなわち移植時期の早期化も本種の発生量の変化と近年の多発傾向をよく説明できた。

2. イネドロオウムシ幼虫による加害時期には年次変動が認められる。そこで、越冬場所から水田への移動時期とその後の水田での分散について調べた。摂食を開始すると卵巣が速やかに発育することから、水田に移動してきたばかりの成虫密度は、未成熟雌密度を調べることで推定することができた。それは日最高気温の変化と連動していたことから、越冬地からの移動は高温が引き金になって起こることが分かった。最高気温が25℃を越える日には大量移動が起こった。移動時期の年次変動も、気温の年次変動により説明することができた。水田侵入後の分散は、温暖で風速が弱い条件で促進された。また、雌がいないと雄の分散は促進された。越冬後の移動時期は、本来は野生寄主の萌芽時期に適應して成立したものと考えられるが、イネの移植時期の早期化は、その時期に近づくことで本種の発生量にも大きなインパクト、つまり発生量の増加をもたらしたと考察した。

3. イネミズゾウムシは、1976年に北アメリカから日本に侵入し、1989年までには全国に分布を広げた害虫である。宮城県では、1985年前後には広く生息するようになった。この新害虫に対して、最小限の農薬使用で対処するため、要防除水準と薬剤の部分的な使用による防除法について検討した。

生息が定着して間もなく、宮城県を含めほとんどの地域では、0.5%までの減収を被害許容水準として、成虫数で株当たり0.5個体前後を要防除水準（CT）

として推奨することが多くなった。わが国の西南暖地では、本種の越冬後成虫は5月中旬には活動を開始しており、5月下旬に田植えが最盛期を迎えると直ちに水田へ侵入する。一方宮城県では、田植えの最盛期は5月上旬であり、越冬後成虫の水田への侵入が行われるのは20日も経過した5月下旬以降からである。このため本種の加害が本格化したときには、イネはかなり生育が進んでボリュームも大きくなっており、このため、西南暖地に比べて被害は大幅に軽減されると考えられる。4年間の被害解析試験から、5%の被害許容水準に相当するCTは株当たり約6個体と明らかに高い値となった。それまで宮城県でも暫定的に設定されていたCTよりも10倍以上高い密度であり、このCTを採用することにより農薬の使用量を大幅に軽減することが可能になった。

次に、農薬の使用方法について検討した。本種の成虫は、畦畔や水田周辺の茂みの落葉下や浅い土中で越冬する。西南暖地では主に飛翔により水田に侵入するが、寒冷地ではおそらく低温のために、主に歩行して水田に侵入すると考えられた。このため、育苗箱施用粒剤を処理した苗を、水田の周縁部にだけ移植してそれ以外は無処理の苗を移植したが、周縁部の処理苗による防除効果により、成虫はより内部に侵入することができなかった。この方法も、部分防除法（額縁防除法）として農薬依存度の軽減に貢献すると考えられた。

4. イチモンジセセリは、寒冷地での越冬が困難とみられているが、最近宮城県を含む東北地方の太平洋側の中・南部では第2世代幼虫による生育の遅れたイネや直播栽培での多発頻度が高まっている。宮城県では1990年の6月から7月にかけて、初めて県内の広い範囲の水田で、第1世代幼虫の発生が認められたので、南方地域から越冬世代成虫が移動してきた可能性を検討した。

蛹化直前の幼虫または蛹が確認された時点から、発育に必要な有効積算温度を遡ることによって産卵時期を推定すると、5月中旬から6月上旬にかけて産卵されたものとみられた。この時期は、より温暖な西南暖地における成虫の発生時期と同じで、宮城県で越冬した成虫が産卵するには早過ぎると考えられた。また、本種は越冬期間中の最低気温0℃以下の日数が多いほど越冬が困難となることが知られて

いるため、宮城県における冬季の気温と発生程度との関係を検討したが、相関関係は認められなかった。以上のことから、今回確認された第1世代幼虫は、より温暖な地域で越冬した個体群に由来したものと結論した。しかし、宮城県の南北150 km程度の範囲内で、本種の確認地点が南部ほど多く北ほど少ないという顕著な密度勾配が認められたことから、飛来源となる地域はそれほど遠方ではないと考えられた。

5. ツマグロヨコバイは、西南暖地における個体群動態の詳細な研究により、そのピーク世代密度の安定性がよく知られていた。一方、東北や北陸では、時に大発生が起こることも知られていたため、個体群動態の地理的な変異を、有害動植物発生予察事業で得られた誘殺記録を解析することにより検討した。

個体数変動の大きさを知るために、まず年間誘殺数の変動係数(C.V.)を、その誘殺データが得られたトラップの緯度に対してプロットした。するとC.V.は、北に向かうほど大きくなり、本種の個体数変動はわが国の南の地域では小さいが、北に向かうほど大きくなることが明らかになった。また、多発したときの個体数は宮城県が位置する北緯38度付近で最も高くなったが、それより北上すると、分布北限である北緯41度付近に向かって急激に低下した。世代間増殖率の密度依存性を、個体数変動の主要因分析法として良く知られているモリス法により検討した。ある世代の誘殺数の対数値を、前世代の誘殺数の対数値に対してプロットすると、その直線回帰式の傾き b は南の地域では1より小さく、個体群増殖は密度に依存していることが分かった。ところが北緯38度から39度の分布の北限に近い地点では、 b の値はほぼ1となり、個体群増殖は非密度依存的であり、個体群サイズは前世代の個体数に比例して決定されることが明らかとなった。ある種の個体数変動の密度依存性を、地理的な勾配として示した報告はこれが初めてと思われる。

6. これらの結果に基づき、①寒冷地稲作害虫の発生特徴と地域性、②要防除水準設定の意義、③育苗箱施用法と減農薬防除、という3点について詳細な考察を行った。①では、たとえ同一種であっても地域が異なればその発生生態にも大きな違いが生ずること、従って、各地域に根ざした発生予察法の検討

が重要であることを述べた。②では、害虫の被害の発生様相も各地域の耕種的方法によって異なること、また、被害許容水準や要防除水準の設定は一つの目安に過ぎないと考えるべきこと、さらに今後動的あるいは確率的な要防除水準の設定が必要であることを述べた。③では、現在そしておそらく今後も水稻害虫の防除法の主流となるであろう育苗箱施用法の功罪について考え、さらに今後の方向性について述べた。

謝 辞

研究を進めるにあたり、多くの方々にお世話になったが、とりわけ研究全体を通じて常に温かい励ましとオリエンテーションをいただいた、農業環境技術研究所名誉研究員の桐谷圭治博士と弘前大学の恩師である正木進三名誉教授に深甚なる感謝の意を表したい。信州大学の森本尚武元学長も恩師であり、個体群生態学の基礎を教えていただいた。

データや情報の収集では以下の方々のお世話になったことを記して感謝したい。イネヒメハモグリバエでは農林省農業技術研究所の故・福原檜男氏に標本の同定をしていただいた。石川県農業試験場の故・石崎久次氏にはコトニミギワバエの標本を分与していただいた。イネドロオイムシでは、山形県におけるフェーン現象による幼虫の密度低下について山形県農業試験場の故・布施寛氏にご教示いただいた。また、福島県農業試験場の故・斉藤満氏には、生存曲線の未発表データの引用を許可していただいた。イネミズゾウムシでは、データの取得に際し、宮城県病害虫防除所の高橋富士男氏、宮城県農業センターの宮田将秀氏と桜井幸一氏の協力を得た。イチモンジセセリでは、データの取得には、当時の病害虫防除所全ての職員の協力をいただいた。元岡山大学の中筋房夫教授には文献収集や原稿の校閲でお世話になった。北陸農業試験場の松村正哉博士には原稿に対しご意見をいただいた。三共農薬(株)仙台支店の保坂満氏には文献の収集でお世話になった。福島県における越冬状況については福島県病害虫防除所の草野憲二氏からご教示いただいた。有効積算温量の計算には、山形県病害虫防除所の渡辺和弘氏が作成した計算プログラムを利用させていただいた。最

近の青森県の発生状況は青森県病害虫防除所の石谷正博氏から教えていただいた。ツマグロヨコバイでは、果樹試験場の太田昭博博士からデータを提供していただいた。

このほか、元中央農業総合研究センターの鈴木芳人博士にはしばしば原稿へのご意見をいただいた。生物資源研究所の田中誠二博士には、原稿へのご意見をいただくのと同時に、英文の校閲をお願いすることが多かった。元蚕糸・昆虫農業技術研究所の小山重郎博士にも折りにふれて議論していただいた。京都大学の藤崎憲治教授には、本報告をまとめるに当たり、オリエンテーションいただくとともに、貴重なご意見をいただいた。最後に、様々な場面において研究を支えてくださった、宮城県農業センター、宮城県古川農業試験場、宮城県病害虫防除所の先輩および同僚の方々に厚く感謝する。

引用文献

- 1) 阿部忠三郎, 板垣賢一. 1960. ツマグロヨコバイによる水稻加害について. 北日本病虫研報 11:79-81.
- 2) 足立 礎, 中筋房夫. 1985. 経済的被害許容水準 (EIL) の定義—総括と理論的解析—. 植物防疫 39:301-307.
- 3) 青木 敏. 1981. イチモンジセセリ. 稲の病害虫の生態と防除 (尾崎幸三郎 編), 東京: 全国農村教育協会, 17-28.
- 4) 荒谷悦務, 小山信行, 須藤健児. 1988. 1987 年に青森県で多発したコブノメイガ 1. 成虫の飛来. 北日本病虫研報 39:173-176
- 5) 安藤喜一. 1993. 発生増加のみられるイナゴをめぐって. 植物防疫 47:311-314.
- 6) 江村一雄, 小嶋昭雄. 1978. イネクビホソハムシの要防除密度推定に関する研究 I 水田での生存曲線と死亡要因の考察. 応動昆 22:260-268 .
- 7) 遠藤 正, 菅野 登. 1955. 福島県におけるイネヒメハモグリバエの発生経過と加害について. 北日本病虫研特報 3:50-53.
- 8) 遠藤和衛, 横内道明, 池 大司. 1955. 昭和 29 年北海道におけるイネヒメハモグリバエの発生概況と防除状況. 北日本病虫研特報 3:123-133.
- 9) 藤村建彦, 荒谷悦務, 木村利幸. 1985. イネミズゾウムシの防除法の確立 第 4 報 株当たり越冬後成虫数とイネの生育との関係. 北日本病虫研報 36:175.
- 10) 藤村建彦, 荒谷悦務, 木村利幸. 1986. イネミズゾウムシの防除法の確立 第 5 報 株当たり越冬成虫数と減収率. 北日本病虫研報 37:183.
- 11) 藤崎憲治. 2010. 仮想温暖化装置を用いたミナミアオカメムシの発生予測. 地球温暖化と昆虫 (桐谷圭治, 湯川淳一 編著), 東京: 全国農村教育協会, 285-299.
- 12) 藤崎祐一郎, 石垣政道, 伏見敬四郎. 1980. イネヒメハモグリバエの発生予測法に関する調査 (1) 調査方法について. 北日本病虫研報 31:110-111 .
- 13) 藤崎祐一郎, 城所 隆, 阿部寛二. 1983. イネヒメハモグリバエ発生予測法改善に関する調査 成虫発生消長の年次変動について. 北日本病虫研報 34:133 (講要) .
- 14) 藤崎祐一郎, 阿部寛二. 1985. 宮城県におけるイネヒメハモグリバエの越冬およびふ化の条件. 北日本病虫研報 36:19-21.
- 15) 藤崎祐一郎, 永野敏光, 高野俊昭, 城所 隆, 安井孝臣, 三浦正勝. 1987. 宮城県におけるイネミズゾウムシによる減収事例. 北日本病虫研報 38:83-84.
- 16) 船迫勝男. 1966. 昭和 40 年におけるイネハモグリバエおよびイネヒメハモグリバエの発生とその発生要因について. 北日本病虫研報 17:72.
- 17) 布施 寛. 1978. 庄内地方におけるイネタテハマキとコブノメイガ. 北日本病虫研報 29:53.
- 18) 後藤純子, 大友令史, 飯村茂之. 2004. 数年に一度の薬剤使用による水稻初期害虫の防除. 北日本病虫研報 55 : 278 (講要).
- 19) 八谷和彦. 2001. 水田におけるアカトンボ 2 種の羽化密度. 北日本病虫研報 52:126-128.
- 20) 長谷川順一. 1975. イチモンジセセリの渡り. 昆虫と自然 10(13):17-22.
- 21) 早坂 剛. 2004. 水稻病害の環境保全型防除技術に関する研究. 山形農事特報 26:1-48.
- 22) 平尾重太郎. 1969. 稚苗植に多発するイネヒメハモグリバエの生態と防除法. 農園 44:677-680.
- 23) 北海道植物防疫協会. 1993. 病害虫の診断と予測 害虫編 (北海道病害虫防除所 編), 北海道, (社) 北海道植物防疫協会, 128p.

- 24) 日浦 勇. 1973. 海を渡る蝶. 東京: 蒼樹書房, 200p.
- 25) 日浦 勇. 1982. イチモンジセセリの移動問題と1981年奈良県における観察. ちょうちょう 5(1):8-29.
- 26) 日浦 勇, 中筋房夫. 1982. イチモンジセセリの移動に関するアンケート調査の結果. 蝶と蛾 32:185-189.
- 27) Hoko, N. . 1971. Applicability of the temperature-sum rule in estimating the emergence time of the overwintering population of the green rice leafhopper, *Nephotettix cincticeps* Uhler, (Hemiptera: Deltocephalidae). *Jap. J. appl. Entmol. Zool.* 12:1-10.
- 28) 法橋信彦. 1972. ツマグロヨコバイの生活史と個体群動態. 九州農試報告 16:283-382.
- 29) Huffaker, C. B. and P. S. Messenger. 1964. The concept and significance of natural control. In: *Biological Control of Insect Pests and Weeds* (ed.P.DeBach), Reinhold publishing, New York pp. 74-117.
- 30) 市田忠夫. 1992. コバネイナゴの発生活態. 青森農試研報 32:95-113.
- 31) 五十嵐良造, 伊藤春男. 1959. イネドロオイムシに関する研究 第2報 越夏越冬に伴う移動. 北日本病虫研報 10:94.
- 32) 飯富暁康. 2004. 秋田県におけるセジロウンカの個体群動態 (1) 近年におけるセジロウンカ発生の特徴. 飯富暁康さんの業績と思い出 (飯富暁康さんの遺稿集発行有志の会編). 秋田, pp.7-15. (注: 応動昆に投稿が予定されていた原稿が収録された)
- 33) 井上 寿, 奥山七郎. 1972. イネクビボソハムシ個体群の発生活態と死亡要因. 北農 42:1-9.
- 34) Ishii, M. and T. Hidaka. 1979. Seasonal polymorphism of the adult rice-plant skipper, *Parnara guttata guttata* (Lepidoptera:Hesperiidae) and its control. *Appl.Entomol.Zool.* 14:173-184.
- 35) 石井 実. 1980a. 休眠と移動—イチモンジセセリ問題 [3]. *インセクタリアム* 17(3):4-10.
- 36) 石井 実. 1980b. イチモンジセセリとチャバネセセリの休眠と越冬. *昆虫と自然* 15(6) 17-20,26.
- 37) 石崎久次. 1976. イネヒメハモグリバエの生態に関する研究 第3報 コトニミギワバエの混発について. 北陸病虫研報 24:28-34.
- 38) 石崎久治, 橋田久衛. 1951. 石川県に於けるイネドロオイムシの発生について. 北陸病虫研報 2:42-44.
- 39) 伊藤嘉昭. 1975. 動物生態学 (上巻). 古今書院, 東京. 226p.
- 40) 伊藤嘉昭. 2003. 楽しき挑戦 型破り生態学 50年. 海游舎, 378p.
- 41) 伊藤春男, 五十嵐良造. 1958. イネドロオイムシの越冬について 第1報. 北日本病虫研報 9:70.
- 42) 岩本静之. 1966. 茨城県南部におけるイネヒメハモグリバエの周年経過. 応動昆 10:110-114.
- 43) 岩田俊一. 1975. 近年多発しているイネドロオイムシ. 植物防疫 29:494-496.
- 44) Johnson, C. G. . 1969. Migration and Dispersal of Insects by Flight. Methuen, London, 763p.
- 45) 常楽武男, 嘉藤省吾. 1974. ツマグロヨコバイに対する積雪の影響. 北陸病虫研報 22:30-31.
- 46) 常楽武男, 嘉藤省吾, 若松俊弘. 1976. ツマグロヨコバイ初期発生量と盛期発生量との関係. 北陸病虫研報 24:19-21.
- 47) 嘉藤省吾, 若松俊弘. 1978. 富山県におけるツマグロヨコバイの発生経過. 北陸病虫研報 26:12-17.
- 48) 粥見惇一. 1986. 第2章 3.わが国における生態. イネミズゾウムシの防除—被害ゼロをめざして— (「イネミズゾウムシの防除」編集員会編). (社) 日本植物防疫協会, 東京, pp.45-61.
- 49) 菅 千穂子, 築地邦晃, 武田眞一. 2002. 数種農薬のトンボ幼虫羽化率に及ぼす影響. 北日本病虫研報 53:155-157
- 50) Kidokoro, T.. 1979. Geographic trend in the annual population fluctuation of the green rice leafhopper, *Nephotettix cincticeps* Uhler (Hemiptera: Deltocephalidae). *Appl. Entomol. Zool.* 14:127-129.
- 51) 城所 隆. 1983a. イネドロオイムシの生態と発生予測. 植物防疫 37 : 253-256.
- 52) 城所 隆. 1983b. 本田初期害虫の生態と防除 I イネミズゾウムシ. 植物防疫みやぎ 25 : 6-12.
- 53) Kidokoro, T. 1983. Migration and dispersal after hibernation in the Rice Leaf Beetle, *Oulema oryzae*

- Kuwayama (Coleoptera: Chrysomelidae). *Appl. Entomol. Zool.* 18:211-219.
- 54) 城所 隆. 1990. 宮城県における最近のツマグロヨコバイの多発とイネ上位葉の黄化現象. 北日本病虫研報 41:105-108.
- 55) 城所 隆. 1992a. 寒冷地におけるイチモンジセセリ第1世代の発生と南方地域からの越冬世代成虫移動の可能性. 応動昆 36:89-93.
- 56) 城所 隆. 1992b. イチモンジセセリの生活史と発生動態. 植物防疫 46:361-366.
- 57) 城所 隆. 1992c. イネミズゾウムシ越冬後成虫の水面下生息率の変動要因. 北日本病虫研報 43:100-103.
- 58) 城所 隆. 1995. 夏期低温年と高温年における宮城県のコバネイナゴの季節適応. 北日本病虫研報 46:107-110.
- 59) 城所 隆. 1996. 宮城県におけるイチモンジセセリ第2世代成虫の移動観察事例. 北日本病虫研報 47:98-100.
- 60) 城所 隆. 1997. 農業害虫および天敵昆虫の薬剤感受性マニュアル (7) イネ害虫: イネドロオイムシ. 植物防疫 51:80-85.
- 61) Kidokoro T.. 1999. IPM Strategy for Rice Water Weevil in Cool Areas of Japan. In *Proceedings of the International symposium on Integrated Pest Management in Rice-Based Ecosystem.* (R.Zhang, D.Gu, W.Zhang, C.Zhou, Y. Pang, eds.) Zhongshan University, China, pp104-109.
- 62) 城所 隆. 2001. 水稻育苗箱施用剤の現状と展望. 今月の農薬 特別増大号 118-123.
- 63) 城所 隆. 2003. 発生予察. 昆虫学大事典 (三橋 淳総編集), 東京: 朝倉書店, 723-732.
- 64) 城所 隆. 2004. トレーサビリティが「ただの虫」を減らす?. 現代農業 83 (9) 346-347.
- 65) 城所 隆. 2005a. 東北地方における水稻の IPM. 植物防疫 59: 481-487.
- 66) 城所 隆. 2005b. 困った病害虫対策相談室 イネミズゾウムシ. 現代農業 84 (6): 233-236.
- 67) 城所 隆. 2007. 総合防除の考え方と実際イネ・害虫・東北 (太平洋側). 農業総覧 病害虫防除・資材編 第1巻普通作物 追録第13号 (農文協編), 東京, pp5-14.
- 68) 城所 隆, 桐谷圭治. 1982. 被害許容水準と防除戦略 (1) EIL の定義とその展開. 植物防疫 36: 5-10.
- 69) 城所 隆, 藤崎祐一郎, 高野俊昭. 1982. イネヒメハモグリバエの多発要因としての田植時期について. 応動昆 26:306-308.
- 70) 城所 隆, 前田正孝. 1983. イネドロオイムシの水田における生存曲線と死亡要因. 宮城農セ研報 50:11-27.
- 71) 城所 隆, 前田正孝. 1992. マメドクガ被害許容密度の時間的变化. 北日本病虫研報 43:112-116.
- 72) 城所 隆, 近藤義典. 1998. 東北地方におけるコバネイナゴに対する農家の意識の違いと発生経過の地域差. 北日本病虫研報 49:109-112.
- 73) 城所 隆, 林かずよ. 2000. 粒剤施用苗の額縁移植によるコバネイナゴの防除. 北日本病虫研報 51:144-145.
- 74) 城所 隆, 小野 亨. 2001. コバネイナゴの額縁防除に必要な粒剤施用苗の移植条数と減農薬程度. 北日本病虫研報 52:129-131.
- 75) 木川 弘. 1955. イネヒメハモグリバエの発生に関する2, 3の観察. 北日本害虫研特報 3:30-32.
- 76) Kiritani, K. . 1963. The change in reproductive system of the southern green stink bug, *Nezara viridula*, and its application to forecasting of the seasonal history. *Jap. J. appl. Entmol. Zool.* 7:327-337.
- 77) 桐谷圭治. 1988. 要防除水準を利用した地域新防除システムの開発 (農研センター編). 昭和63年度総合農業試験研究推進会議病害虫分科会資料, 23-29.
- 78) 桐谷圭治. 2001. 昆虫と気象. 成山堂書店, 東京. 177pp.
- 79) 桐谷圭治. 2004. ただの虫を無視しない農業—生物多様性管理—, 築地書館, 東京, 192pp.
- 80) 桐谷圭治. 2009. 個体群動態—大発生と潜在的害虫化. ニカメイガ 日本の応用昆虫学 (桐谷圭治・田付貞洋 編). 東京大学出版会, 東京, pp.82-95.
- 81) Kiritani, K., N. Hokyo, T. Sasaba and F. Nakasuji. 1970. Studies of population dynamics of the green rice leafhopper, *Nephotettix cincticeps* Uhler: Regulatory mechanism of the population density. *Res. Popl. Ecol.* 12:137-153.

- 82) 北見寿昭, 中村保宏, 山田 昇, 清水喜一. 1977. イネドロオイムシの水田内における生存率. 関東東山病虫研報 24:99-101.
- 83) 岸野賢一, 佐藤テイ. 1977. イネドロオイムシに関する生態学的研究 第1報 イネドロオイムシの活動期における発生生態. 東北農試研報 56:1-18.
- 84) 小林森己. 1986. イネミズゾウムシ成虫の寄生密度と被害の関係. 北日本病虫研報 37:125-127.
- 85) 小嶋昭雄, 江村一雄. 1979. イネクビホソハムシの要防除密度推定に関する研究 II 被害許容密度の推定. 応動昆 23:1-10.
- 86) 腰原達雄. 1972. 東北地方のツマグロヨコバイ発生の地域性. 北日本病虫研報 23:71-77.
- 87) 腰原達雄, 河部 暹. 1969. 東北地方のツマグロヨコバイの発育と温度との関係. 北日本病虫研報 20:181-187.
- 88) 小山重郎. 1973. ニカメイチュウに対する殺虫剤散布軽減に関する研究 I. ニカメイチュウの被害とイネの収量との関係. 応動昆 17:147~153.
- 89) 小山重郎. 2000. 害虫はなぜ生まれたのか. 東海大学出版会, 東京, 220pp.
- 90) Koyama, J. . 1978. Control threshold for the rice leaf beetle, *Oulema oryzae* Kuwayama (Coleoptera: Chrysomelidae). *Jap. J. apple Entomol. Zool.* 13:203-208.
- 91) 久野英二. 1968. 水田における稲ウンカ・ツマグロヨコバイ類個体群の動態に関する研究. 九州農試彙報 14:131-246.
- 92) Kuno, E. and N. Hokyō. 1970. Comparative analysis of the population dynamics of rice leafhopper, *Nephotettix cincticeps* Uhler and *Nilaparvata lugens* Stål, with special reference to natural regulation of their numbers. *Res. Popl. Ecol.* 12:154-184.
- 93) 桑山 覚. 1932. 稲泥負虫に関する研究 第一報 稲泥負虫の外部形態並びに生態. 北海道農事試験場報告 29:1-71.
- 94) 桑山 覚. 1954. 稲泥負虫の食餌植物に関する知見追補. 応用昆虫 10:59-62.
- 95) 桑山 覚. 1955. イネヒメハモグリバエ序説. 北日本病虫研特報 3:1-5.
- 96) 桑山 覚. 1964. 異常気象と病害虫 イネヒメハモグリバエ. 植物防疫 18:245-247.
- 97) 桑山 覚, 藤原 忠, 富岡 暢. 1955. 北海道におけるイネヒメハモグリバエの発生と気象との関係についての一考察. 北日本病虫研特報 3:59-66.
- 98) 湖山利篤, 鈴木忠夫. 1955a. 東北地方におけるイネヒメハモグリバエの異常発生とその原因についての考察. 北日本病虫研特報 3:54-58.
- 99) 湖山利篤, 鈴木忠夫. 1955b. イネヒメハモグリバエの産卵と加害. 北日本病虫研特報 3:75-79.
- 100) 松木伸浩, 三田村敏正. 2010. 物理的障壁によるイネミズゾウムシ越冬後成虫の水田内侵入抑制効果. 北日本病虫研報 61:95-98.
- 101) 松井正春. 1985. イネミズゾウムシ越冬後成虫の飛翔筋の発達と飛翔活動における温度依存性. 応動昆 29:67-72.
- 102) Miyai, S., K. Kiritani and T. Sasaba. 1978. An empirical model of *Lycosa* hoppers interactions system in the paddy field. *Protection Ecology* 1:9-21.
- 103) Morris, R.F.. 1963. Predictive population equations based on key factors. *Mem. Entomol. Soc. Can.*, 32:16-21.
- 104) Musolin, D. L., D. Tougou and K. Fujisaki. 2010. Too hot to handle? Phenological and life-history responses to simulated climate change of the southern green stink bug *Nezara viridula* (Heteroptera: Pentatomidae). *Global Change Biology* 16:73-87.
- 105) 那波邦彦. 1979. ツマグロヨコバイの吸汁による被害の地域差. 植物防疫 33:200-203.
- 106) 那波邦彦. 1993. 現代の農業と農薬の問題—稲作農家の防除意識をめぐって—. 農耕の技術と文化 16:85-97.
- 107) 中筋房夫. 1988. チョウの移動と進化的適応. 日本鱗翅学会 特別報告 6:211-249.
- 108) 中筋房夫. 1997. 総合的害虫管理学, 養賢堂, 東京, 273pp.
- 109) Nakasuji, F., M. Ishii, I. Hiura and H. Honda. 1981. Population dynamics of the migrant skipper butterfly *Parunara guttata* (Lepidoptera: Hesperiiidae) 1. Survival rates of overwintering larvae. *Physiol. Ecol. Jpn.* 18:119-125.
- 110) 中筋房夫, 石井 実. 1988. 蝶, 海へ還る—イチモンジセセリ渡りの謎. 東京: 冬樹社, 156p.

- 111) 中筋房夫, 中野昭雄. 1990. イチモンジセセリの飛翔能力と移動方向のオリエンテーション. 昆虫と自然 25(1):2-7.
- 112) Nakasuji F. and A. Nakano. 1990. Flight activity and oviposition characteristics of seasonal form of a migrant skipper, *Parunara guttata* (Lepidoptera:Hesperiidae). *Res. Popul. Ecol.* 32:227-233.
- 113) 農林水産省農産園芸局植物防疫課. 1979. イネミズゾウムシの生態と防除. 東京: 日本植物防疫協会, 19p.
- 114) 沼田 眞, 吉沢長人, 浅野貞夫, 桑原義晴, 奥田重俊, 岩瀬徹. 1975. 新版・日本原色雑草図鑑. 東京: 全国農村教育協会, 414p.
- 115) 岡崎勝太郎, 板垣賢一. 1955. 山形県におけるイネヒメハモグリバエについての2, 3の観察. 北日本病虫害研特報 3:45-49.
- 116) 奥 俊夫. 1983. 北日本におけるアワヨトウの発生様相の変動と移動侵入との関係. 東北農試研究資料 3:1-49.
- 117) 大森秀雄, 大矢剛毅. 1955. 岩手県におけるイネヒメハモグリバエの異常発生について. 北日本病虫害研特報 3:33-38.
- 118) Ôtake, A.. 1966. Analytical studies of light trap records in the Hokuriku district, II The green rice leafhopper, *Nephotettix cincticeps*. *Res. Popul. Ecol.* 8:62-68.
- 119) 大友令史, 飯村茂之, 築地邦晃, 川村亮二. 1995. 1994年岩手県におけるイチモンジセセリの発生と被害の実態. 北日本病虫害研報 46:123-126.
- 120) Ono, T. and F. Nakasuji. 1980. Comparison of flight and oviposition characteristics of the seasonal forms of a migratory skipper, *Parnara guttata guttata*. *Kontyu* 48:226-233.
- 121) 大矢慎吾, 菅野紘男. 1971. 稚苗移植とイネミギワバエによる被害について. 北陸病虫害研報 19:57-60.
- 122) Richards, O.W. and T. R. E. Southwood. 1968. The abundance of insects: Introduction. In: *Insect Abundance* (ed. T. R. E. Southwood), Blackwell, Oxford, pp.1-7.
- 123) Ruesink, W. G.. 1975. Analysis and modeling in pest management. In *Introduction to Insect Pest Management* (R. L. Metcalf and W. H. Luckman, eds.) Wiley, New York. pp.353-378.
- 124) 坂神泰輔, 是永龍二. 1981. 有効積算温度の簡易な新算出法“三角法”について. 応動昆 25:52-54.
- 125) 桜井 清, 松本 蕃, 富岡 暢. 1955. 北海道におけるイネヒメハモグリバエの発生消長並びに生態に関する2, 3の観察. 北日本病虫害研特報 3:15-24.
- 126) 佐藤テイ, 岸野賢一. 1978. 東北地方におけるコブノメイガの異常発生について. 北日本病虫害研報 29:64.
- 127) 関口 亘, 常楽武男. 1973. イネクビボソハムシの多発地とその環境. 北陸病虫害研報 21:46-49.
- 128) 関谷一郎. 1962. イネツトムシ発生予察の技術的展望. 病虫害発生予察事業二十周年記念誌(同記念誌編集委員会編), 東京: 同記念誌協賛会, PP.126-142.
- 129) Shoemaker, C. B. The role of systems analysis in integrated pest management. In *New Technology of Pest Control* (C. B. Huffaker, ed.), Wiley, New York. pp.25-49.
- 130) 四戸耕太郎. 1955. 岩手県上閉伊郡におけるイネヒメハモグリバエの局地発生について. 北日本病虫害研特報 3:39-44.
- 131) 田川日出夫. 1973. 生態遷移 I. 東京: 共立出版, p92.
- 132) 高橋智恵子, 城所 隆, 星 信幸. 2003. 水稻直播栽培におけるイチモンジセセリの被害解析. 北日本病虫害研報 54:119-122.
- 133) 高野俊昭, 藤崎祐一郎, 阿部寛二, 佐藤智美. 1984. 1983年に宮城県で多発したセジロウンカとコブノメイガについて. 北日本病虫害研報 35:72-74.
- 134) 高野俊昭, 藤崎祐一郎. 1985. イネヒメハモグリバエ成虫の発生時期. 北日本病虫害研報 36:14-16.
- 135) 高島敬一. 1962. 福井県における最近のイネヒメハモグリバエの発生について. 北陸病虫害研報 10:20-22.
- 136) Takeda M. and T. Nagata. 1994. Predicting immigration, distribution patterns and timing of insecticide applications to control the rice water weevil, *Lissorhoptrus oryzophilus* Kuschel (Coleoptera: Curculionidae), relative to the total effective temperature. *Bull. Tohoku Natl. Exp. Stn.* 88:101-117.

- 137) 鶴田良助. 1987. 稚苗移植におけるイネミズゾウムシの要防除密度. 北日本病虫研報 38:188.
- 138) 都築 仁, 五十川是治. 1976. 新害虫イネミズゾウムシ(仮称)愛知県に発生. 植物防疫 30:341.
- 139) 都築 仁. 1982. イネミズゾウムシの生態と防除. 昭和57年度発生予察職員中央研修テキスト. 農林水産省農産園芸局植物防疫課, pp.81-105.
- 140) 都築 仁, 浅山 哲, 大石一史, 上林 謙. 1983a. イネミズゾウムシの被害解析 I. イネの生育ならびに収量に及ぼす成虫放飼密度の影響. 応動昆 27:211-218.
- 141) 都築 仁, 浅山 哲, 滝本雅章, 下畑次夫, 粥見惇一, 小林荘一. 1983b. イネミズゾウムシの被害解析 II. 成虫および幼虫による被害と被害許容密度の推定. 応動昆 27:252-260.
- 142) 都築 仁, 浅山 哲. 1986. 第3章 4.防除要否の基準. イネミズゾウムシの防除—被害ゼロをめざして—(「イネミズゾウムシの防除」編集委員会編). (社)日本植物防疫協会, 東京, pp.98-103.
- 143) 上野 清, 阿部雄幸. 2004. 長期持続型箱施用剤(フィプロニルを含む剤)を広域に使用した地域における各種水稻害虫の発生状況. 北日本病虫研報 55:167-172.
- 144) 上野 清, 斎藤 隆. 2005. イネクビボソハムシの fipronil に対する抵抗性発達と各種薬剤の防除効果. 応動昆 49:75-78.
- 145) 宇根 豊. 1996. 田んぼの忘れもの. 葦書房(福岡), pp195.
- 146) 渡部文雄. 1990. 日本の天気:冬(1989年12月~90年2月). 気象 34(5):30-31.
- 147) 渡辺和弘, 斎藤 隆, 遠藤秀一, 庄司 敬. 1987. 山形県におけるイネミズゾウムシの被害解析. 北日本病虫研報 38:80-82.
- 148) Widiarta, I N., Y. Suzuki, K. Fujisaki and F. Nakasuji. 1997. Comparative population growth between the green rice leafhoppers, *Nephotettix cincticeps* in temperate paddy fields and *N. Virescens* in tropical paddy fields. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool. Chugoku Branch* 39:21-30.
- 149) 山下善平. 1955. イチモンジセセリの移動の実態. 植物防疫 9:317-323.
- 150) 矢澤洋平, 城所 隆. 1998. 宮城県に生息するコバネイナゴの生育特性. 北日本病虫研報 49:113-116.
- 151) 吉尾政信, 石井 実. 2010. 気候温暖化とナガサキアゲハの分布拡大. 地球温暖化と昆虫(桐谷圭治, 湯川淳一編), 東京:全国農村教育協会, 54-71.
- 152) 山代千加子. 1994. 発生予察と稲病虫害防除—新潟県における実例から—. 農および園 69:224-230.
- 153) 湯川淳一, 桐谷圭治. 2010. 北上するミナミアオカメムシと局地的に絶滅するアオクサカメムシ. 地球温暖化と昆虫(桐谷圭治・湯川淳一編), 東京:全国農村教育協会, 72-105.

Studies on the Forecasting and Integrated Pest Management-oriented Control of Rice Insect Pests in Cool Regions of Japan

Takashi Kidokoro

Summary

Studies were made of the forecasting and integrated pest management(IPM)-oriented control methods for five important insect pests of the rice plant, *Oryza sativa*, in Miyagi Prefecture, ranging from the central to southern parts of the Tohoku district, facing the Pacific Ocean.

1. The smaller rice leaf miner, *Hydrellia griseola*, has recently become an important pest on the rice plant, and sometimes undergoes outbreaks. The damage was particularly severe when rice seedlings were transplanted in early May or early June. When transplanting was made between these periods, the miner caused little damage. Seasonal monitoring of adults with sticky traps shows the occurrence of two abundance peaks in late April and early June, respectively. Adults preferentially deposit eggs on host leaves drooping over the water surface often observed just after transplanting. It was suggested that the coincidence of *H. griseola* adult emergence with the time of rice transplanting was the main cause for the occurrence of outbreaks. Progress of the transplanting method and changes in transplanting time may also well explain the change of pest status of this insect.

2. Larvae of the rice leaf beetle, *Oulema oryzae*, exhibit annual fluctuations in the time of infestation. To analyze this phenomenon, the migratory movement of adults from overwintering sites to paddy fields and their subsequent dispersal behavior were observed. As ovarian development proceeded considerably fast once feeding was resumed, the occurrence of immigration into paddy fields could be assessed by examining the proportion of reproductively immature adult females in the paddy fields. The pattern of immigration was found to be correlated with the daily maximum temperature. It was thus inferred that immigration of adults was triggered by a high temperature. In fact, mass immigration into paddy fields was found to occur when the daily maximum temperature exceeded 25 °C. The pattern of annual variation in the time of immigration appeared to be also well explained by temperature. The dispersal within and between paddy fields after immigration was favored by warm and calm weather, and the scarcity or absence of females also promoted the movement of male adults. The timing of migratory movement by overwintered adult beetles is likely to be an adaptive response to the timing of food availability in the original habitat conditions, and the temporal relationship between their movement to paddy fields in the spring and sowing or transplanting of rice seedlings would have a great impact on the population dynamics of this insect.

3. The rice water weevil, *Lissorhoptrus oryophilus*, invaded central Japan from North America

in 1976 and expanded its distribution all over this country by 1989. The beetle became common around 1985 in Miyagi Prefecture. To control this new pest with a minimum amount of pesticide, the control threshold (CT) and application technique for the rice water weevil were examined in Miyagi.

In many prefectures including Miyagi an adult density of around 0.5/hill, which causes a 5% yield loss of brown rice, has been recommended as a CT for *L. oryzppilus*. Because overwintered weevils become active in mid May in central Japan, they invade paddy fields immediately after rice transplanting in late May. In Miyagi where rice seedlings were transplanted in early May but weevils did not become active until late May, beetle invasion to paddy fields occurred approximately 20 days after transplanting. Consequently, their infestation was delayed until the seedlings grew relatively tall and became robust, resulting in light injury to the rice plants compared with the injury levels in central Japan. An analysis of 4-year surveys has revealed that 6 adults/hill may be used as a CT for the rice water weevil in Miyagi when a 5% yield loss is permitted. This is 10 times higher than the conventional value, suggesting that a substantial reduction may be expected in the amount of pesticides to be used for the control of this weevil if the new CT is adopted.

Adult weevils overwinter at levees or in adjacent bushes, and invade paddy fields mainly by flight in central Japan, whereas they move to paddy fields only by walking in northern Japan probably because of low prevailing temperatures. When a paddy field was bordered with rice seedlings that had been treated with granular insecticides in nursery trays, adult weevils failed to invade the paddy field beyond this barrier border of treated seedlings. This technique of partial treatment, together with the new CT, is expected to contribute greatly to reducing pesticide use in Miyagi.

4. The rice-plant skipper, *Parnara guttata guttata*, had been considered to be difficult to overwinter in Miyagi, because the winter is too cold. However, this species has recently become a problem in the Tohoku district, and second-generation larvae have often been reported to undergo outbreaks especially in direct-seeded fields or transplanted fields where the plant growth was delayed. In Miyagi, larvae of this butterfly were observed for the first time on rice plants in the southern area in June and July 1990. They were apparently first generations. The time of oviposition by their parents was estimated to be mid-May through early June based on the dates of their pupation and the amount of heat available for development from oviposition to pupation in the paddy field. This time period for oviposition is, however, almost the same as that in central Japan, indicating that such early oviposition by overwintered adults in Miyagi is not likely. Temperature is the primary factor determining the winter survival of adult butterflies and overwintering success is dependent on the number of days with a minimum temperature below 0 °C during the winter. In Miyagi, no significant correlation was found between the number of infested paddy fields and that of days with a minimum winter temperature below 0 °C. These

results may suggest that annual immigration from southern prefectures is a likely scenario to explain the occurrence of this butterfly in Miyagi. Furthermore, the number of sites at which this butterfly was witnessed showed a significant decreasing tendency towards north even within a small range of 150 km in Miyagi, suggesting that the source of origin may not be very far from this prefecture.

5. The green rice leafhopper, *Nephotettix cincticeps*, is a typical insect in which population density is regulated by density-dependent processes, leading to stability in population density, according to previous studies in southern districts of Japan. On the other hand, populations in the Tohoku and Hokuriku districts show a marked fluctuation in size and sometimes reach a high density, causing a significant yield reduction due to sucking of rice plants by leafhoppers. In this study, published data of light-trap records collected throughout Japan were analyzed with special reference to the geographic variation.

To examine the geographic trend in the magnitude of annual fluctuations in population density, the coefficient of variation (C.V.) of annual catches was plotted against the latitude of trap location. The value of C.V. tended to increase with an increase in latitude, which means that the magnitude of fluctuations in the northern areas is greater than that in the southern areas. The mean of five highest records in trap catches tended to increase towards the north until around 38 °N at which Miyagi Prefecture is located, and the value then decreased drastically near the northern boundary at 41°N. The density-dependent action on population growth from one generation to another was examined using light trap records. The procedure plotting the log number of a given generation against the log number of the preceding generation is well known as Morris-plot or key factor analysis. The regression coefficient b was smaller than unity for the southern populations, which indicated that population growth is density-dependent. In the northern populations, a different picture emerged. In an area ranging from 38 °N to 39 °N, the value showed near unity, which means that population growth is density-independent, namely the population size of a generation is proportional to that of the preceding generation. This may be the first evidence showing a geographic variation in the density-dependence of population growth.

6. Based on the results described above, detail discussions were made on three subjects: ① the characteristics of rice pests in cool regions, ② the significance of control threshold, and ③ the efficacy of nursery tray application of granule insecticides. In ①, it was pointed out that the ecology of rice pests may differ depending on the geographic region or climate even in same species and thus the forecasting and control methods must be grounded on the local conditions. In ②, it was emphasized that the level of injury to crops also greatly depends on the cultural practices of each locality and establishment of dynamic and/or statistical control threshold for each pest insect in each locality may be necessary. Finally in ③, the merits and demerits of nursery tray application of granule insecticides and its efficacy in diminishing insecticide use in paddy fields as well as its future perspectives were discussed.