イネウンカ類の発生予察技術の改良

佐賀県農業試験研究センター　菖蒲（しょうぶ）　信一郎（しんいちろう）

はじめに

イネウンカ類の発生予察においては，海外からの飛来時期をトラップ調査や気象図解析から把握したうえで，有効積算温度を用いてその後の発生時期を予測するとともに，次世代発生量を規定する主要因の一つである短翅率を把握することが，非常に重要である。筆者らは，以上の3点に関連して「850 hPa数値予報図（風・相当温位図）を用いたウンカ類の飛来予測」，「有効積算温度によるトビイロウンカの発生時期の予測」，「トビイロウンカの水田での短翅率の経時的推移」について調査や解析を行い，新しい知見を得た。これらは，ウンカ類の発生予察技術の改良につながる有益な情報と考えられるので，その概要を紹介する。

I　850 hPa数値予報図（風・相当温位図）を用いたウンカ類の飛来予測

1　ウンカ類の飛翔高度

Seino et al.（1987）は，ウンカ類の海外飛来が梅雨前線南側の高度1,000～2,000 mに出現する下層ジェット（ここでは風速20 kt以上の南西～西南西風域と定義する）と密接な相関があることを実証し，850 hPa面（高度約1,500 m）の天気図を用いて，ウンカ類の飛来侵入時期を予知する方法を開発した。ここで注意すべき点は，ウンカ類の連続飛翔距離やその高度がまだ十分解明されたとはいえないこと（岸本，1994 a）である。岸本（1994 a, 1994 b）は，東シナ海の調査や海外でのレーダー利用による調査結果を考慮し，ウンカの飛翔高度は1,500 mより低い可能性を指摘している。しかし，下層ジェットの下層部は地上にかなり近い範囲まで強風域であるため，ウンカの飛翔高度が1,500 m（約850 hPa）より低くても，その飛翔高度付近の風系は，850 hPa面の天気図から推察可能である。気象庁からは，様々な高度に該当する等圧面高層天気図が提供されている。このうち850 hPa面は風や気温に対する山地など地表の局地的影響（ノイズ）がほとんど消失する最低の高さである（安斎，1998）。このことからも，ウンカの長距離移動の解析には，地上天気図よりも850 hPa面の情報の方が適しているとされている。

2　ウンカ類の長距離移動と暖湿強風域

トビイロウンカは，16.5℃以上で飛翔の継続が可能と考えられている（大久保，1973）。梅雨期の地上気温を約25℃とし，ウンカの飛翔高度を1,500 mと仮定した場合，湿潤空気の断熱減率から単純に計算すると，その高度の気温は約16℃となり，飛翔可能限界温度付近となる。またトビイロウンカの長時間の飛翔の継続には湿度85%以上が必要とされている（大久保，1973）。こうしてみると，ウンカの長距離移動をモニタリングするには，単に強風域の存在だけでなく，その強風域の空気が暖かく湿潤であるかどうかも重要な要素となる。これまでウンカ類の長距離移動と梅雨期の集中豪雨との間には，多くの関連性が指摘されている（Seino et al., 1987）。集中豪雨は，前線に向かって高温多湿な空気が舌状に流れ込んでくる（以下，湿舌と表記）ときに起こりやすく，この湿舌は気象庁から配信される850 hPaの風向，風速および相当温位線の数値予報図（以下850 hPa風・相当温位図と表記）から，把握可能である（日本気象協会，1996）。相当温位とは，水蒸気まで含めた実質的な暖かさを示す温度（単位は絶対温度のKで表す）のことであり，相当温位の高い空気は，高温多湿であることを示す。岸本（1975）は，ウンカの長距離移動を可能にするのは，中国華南から北東に伸びた温暖多湿な湿舌であるとしており，850 hPa風・相当温位図で示された湿舌のような暖湿強風域は，ウンカの長距離移動可能域に当たると思われる。そこで菖蒲・御厨（2000）は，これまでの850 hPaの強風域よりも高温多湿な条件を満たした強風域に注目した方がウンカの飛来予測精度が向上すると考え，その有効性を実証している。

3　数値予報とは

最近，気象予報において，運動方程式や熱力学方程式などを用いて，気圧・温度・風等の物理量を計算し，将来の大気の状態を予測する数値予報が発達している（日本気象協会，1996）。日本域を対象とした850 hPa風・相当温位図も，数値予報により12,24,36,48時間予想図が12時間ごと（1日2回）に作成されている（気象庁，1995）。なお，数値予報図において計算を開始する初期

Improvements in the Forecasting Technique of Rice Planthopper Occurrence.　By Shin-ichirou Syobu

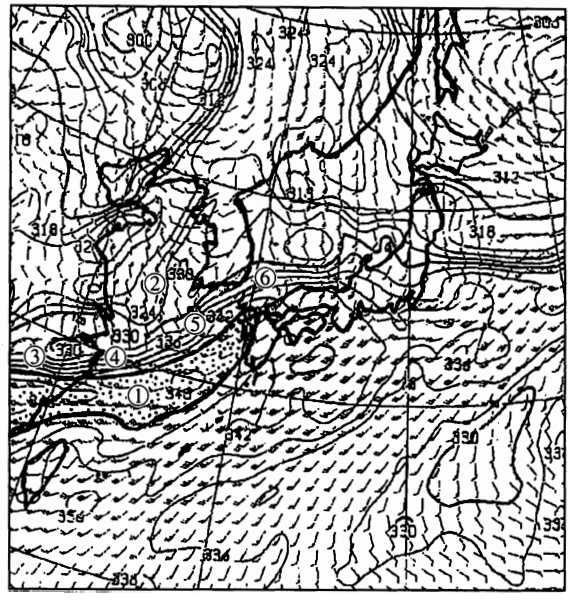
（キーワード：ウンカ類，飛来予測，有効積算温度，翅型）

時刻は，世界標準時刻（UTC）の00時と12時であり，これは日本標準時刻（JST）の09時と21時に該当する。数値予報図で世界標準時刻だけが示されている場合，その時刻に9時間を加えて日本時間として情報を読みとればよい。

4　850 hPa風・相当温位図の活用法

850 hPa風・相当温位図において，風速20 kt以上の強風域（Seino et al., 1987）と334～340 K以上の高い相当温位（福地，1999）に注目すれば，暖湿強風域の出現状況を把握することができる。また，梅雨前線のように水蒸気量傾度が顕著な場合は，相当温位による前線位置の検出が有効であり（日本気象協会，1996），相当温位線が混んでいる場所から梅雨前線の位置が推定できる。ちなみに，異なる気団の境界面である前線面が，解析する高度の天気図面と交わる線が前線であるので（安斎，1998），一般に850 hPa面の前線の少し南側で地表の前線が見られる。

北部九州にウンカ類が多飛来したときの850 hPa風・相当温位図における暖湿強風域の出現状況を調べた結果，各飛来波ともに共通した特徴が見られた。一例として1998年6月19日9時の予想図を見ると（図-1），高い相当温位線が中国華南方面（北緯25～28度）から九州北部（北緯32～34度）にかけて舌状に流れ込む形で見られ，さらにこの付近は西南西～南西の強風域となっていた（図-1中の①）。また相当温位線が図中の③－④－⑤－⑥を結ぶ位置で混んでおり，この辺りに梅雨前線があると推定された。さらにその前線の北側付近では，比較的相当温位が低い，北よりの風が見られた（図中の②）。これらのことは，暖湿な上昇成分をもつ南西風に運ばれ，ある一定高度を保ちながら飛翔を継続していたウンカが，前線帯付近で比較的冷涼で乾燥した北よりの下降気流と遭遇することにより，飛翔高度を下げる可能性を示唆している。以上のように850 hPa風・相当温位図は，これまでの下層ジェット気流データ（850 hPa面の風向・風速図）と比較し，気温，湿度に関する情報も把握できるためウンカの空中移動をより詳しくモニタリングでき，しかも前線の位置からウンカの降下に関与する気象現象（前線帯での風のかく乱，気温の降下，降雨など）の推察も一部可能であり，有効である。なお，850 hPa風・相当温位図の入手方法は様々であるが，インターネットを利用すればいくつかの気象関連のホームページから簡単に入手することができる。ちなみに，筆者自身も，梅雨期間中はこれらのホームページを毎日利用している。

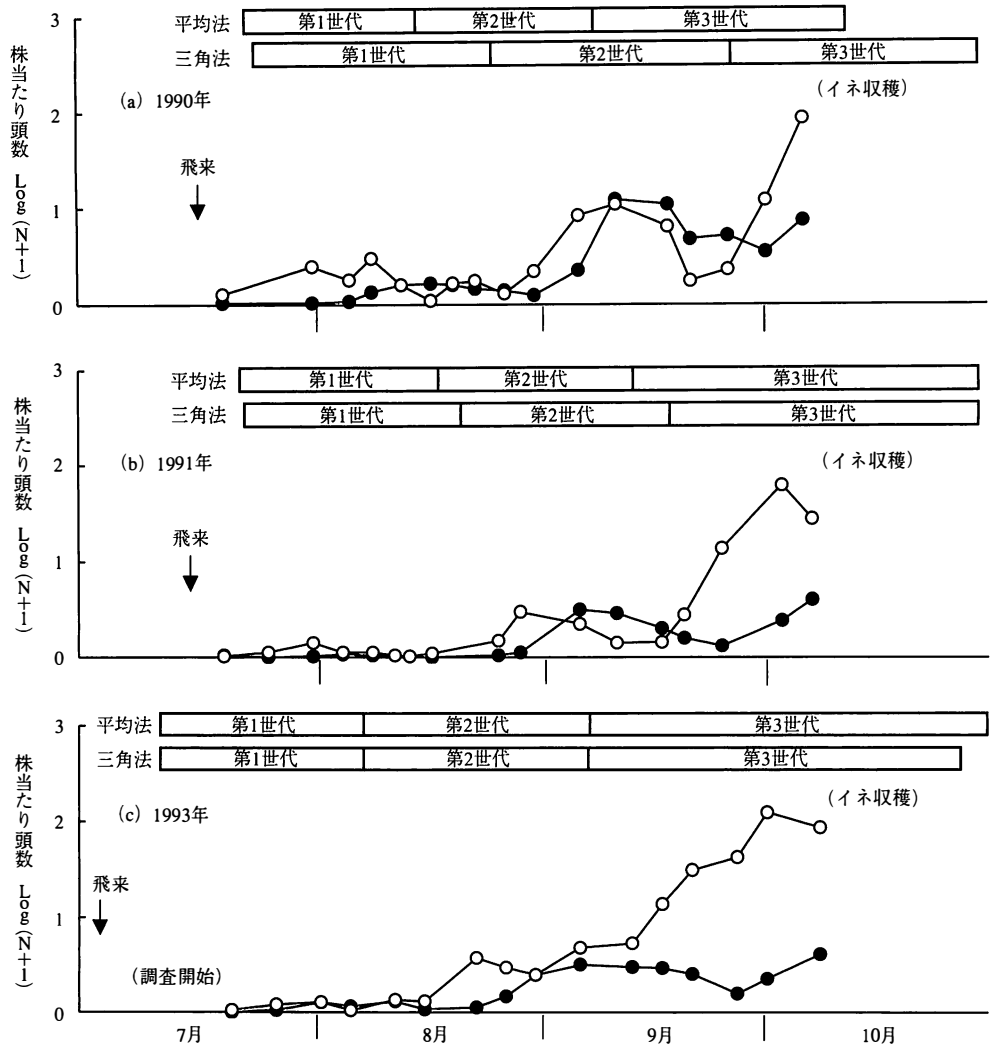


図－1　ウンカ多飛来時における850 hPa風・相当温位
［1998年6月19日9時の予想図］
実線：相当温位(K)，矢羽：風向・風速(kt)（短矢羽｢：5 kt，長矢羽｢：10 kt，旗矢羽▶：50 kt）．この図は6月18日21時を初期値とした12時間後の数値予報図．中国大陸から伸びる，相当温位が高く（高温多湿），南西よりで20 kt以上の強風域が見られる地域を網掛け域（①）で示した．②：相当温位が低く（低温乾燥），北よりの風が見られる地域。③-④-⑤-⑥：相当温位線が混んでいることから推定される梅雨前線の位置．

Ⅱ　有効積算温度によるトビイロウンカの発生時期の予測

1　これまでのトビイロウンカの予測法

トビイロウンカの発生時期の予察については，推定した主要飛来日を起点として，気温データから本種の有効積算温度を算出し，次世代以降の出現時期を正確に予測することが重要である。本種の産卵から羽化までの有効積算温度は約298日度，発育零点は各ステージとも約12℃であり（野田，1989），羽化ピークと産卵ピークのずれに相当する期間の積算温度は約100日度（久野，1968）である。久野（1968）が，日平均気温を用いて有効積算温度を算出し（以下，平均法と表記），得られた発生時期の予測値と水田での実測値を比較した結果では，両者はほぼ一致している。しかし，佐賀県におけるトビイロウンカ第1，第2世代の実際の発生時期は，平均法によって算出した有効積算温度による予測時期より遅れる場合があり，特に猛暑となった1990年にその傾



図－2　トビイロウンカの有効積算温度による推定発生時期（各図上段）と圃場における発生消長（各図中～下段）．●：成虫，○：幼虫．(a)1990 年：品種ヨカミノリ（6 月 18 日移植，8 月 27 日出穂），(b)1991 年：品種ヒノヒカリ（6 月 19 日移植，8 月 29 日出穂），(c)1993 年：品種ヒノヒカリ（6 月 7 日移植，8 月 30 日出穂）

7 月 20 日～9 月 10 日の平均気温は，1990 年(a)が 29.0℃，1991 年(b)が 27.2℃，1993 年(c)が 25.3℃であった．有効積算温度は，各年次の主要飛来日を起点として，平均法（日平均気温を利用）および三角法（日最高・最低気温を利用，高温補正を実施）によって算出．

向が顕著であった（図-2）。

2　コブノメイガの発育に影響を及ぼす高温の補正

ウンカ類と同じ海外飛来性害虫であるコブノメイガにおいて，鹿児島県では 1994 年に平均法で予測した発生時期に成虫が発生していないという情報が多数寄せられ，この一因として異常な高温が長期間続き本種の発生に何らかの影響を及ぼしたことが推測された（上和田ら，1995)。そこで，上和田らは，本種の高温域において発育速度が変化しなくなる発育上限温度を 28.5℃，発育が止まる発育停止温度を 33℃と設定した。そのうえで，日最高・最低気温を用いて三角法や正弦法で有効積算温度を算出し，発生時期の予測を行った結果（高温の影響を補正)，平均法を用いるよりも予測精度が向上することを明らかにした。

3　トビイロウンカの発育に影響を及ぼす高温の補正

近年の夏は，気温が平年より高めに推移することが多く，佐賀県でも日平均気温が 28℃を超えたり，日最高気温が 33℃を超える日はめずらしいことではなくなっ

た。久野（1968）は，トビイロウンカの有効積算温度の算出に当たって高温時の補正を行っていないが，近年の高温傾向下では，本種についても高温の影響を補正する必要があると考えられる。そこで，トビイロウンカの発育上限温度と発育停止温度を設定し，三角法を用いて本種の有効積算温度を算出した。すなわち，発育上限温度は，末永（1963）および岸本（1965）の報告から28℃とした。発育停止温度については，幼虫が正常に活動する温度域の上限が30～32℃であり33℃以上では幼虫の生存率が極端に低下していること，33～35℃での産下卵の大部分は胚子が発育せずにふ化できないことから（末永，1963），33℃とした。そのうえで，三角法を用いて算出した有効積算温度から予想されたトビイロウンカ第1，第2世代の発生時期は，各年次とも実測値とよく一致した（図-2）。

以上のことから，トビイロウンカの発生時期の予測においても，平均法より高温の影響を補正した三角法を利用した方が予測の精度が高くなることが明らかになった。そこで，佐賀県ではトビイロウンカおよびコブノメイガの発生予察において，従来から使用してきた平均法に変えて2年前から三角法を活用している。

Ⅲ　トビイロウンカの水田での短翅率の経時的推移

1　見掛けの短翅率と5齢幼虫採集による短翅率

トビイロウンカの翅型は，本種個体群の増殖を左右する重要な要因の一つである。日本の水田における翅型調査は，水田で羽化した成虫を採集して調べたものが多い（久野，1968；山中ら，1989）。しかし，この方法で得られた見掛けの短翅率は，長翅成虫の移出があれば，羽化時の短翅率に比べ過大評価される。実際，翅型決定後の5齢幼虫を採集し，羽化させて調査した成虫の短翅率は，見掛けの短翅率より低いことが確認されている（岸本，1965）。フィリピンにおいて，経時的に採集した5齢幼虫の翅芽長に基づき推定された雌の短翅率は，移植35～45日後と約80日後にピークをもつ双峰型の変動を示すことが明らかにされた（Cook and Perfect, 1985）。抵抗性品種に対する加害性の違いから，日本へ飛来するトビイロウンカ個体群とフィリピンの個体群は遺伝的に異なると考えられている（寒川，1992）。また，フィリピンのトビイロウンカ個体群は日本の個体群と比べ，概して高い短翅型発現性を示す（Nagata and Masuda, 1980；Iwanaga et al., 1987）。以上のことから，本種の短翅率はフィリピンと日本の水田において異なる推移を示す可能性があるが，これまで日本では5齢幼虫を採集した翅型調査は断片的にしか行われていなかった（岸本，1965；野田，1988；寒川ら，1988）。

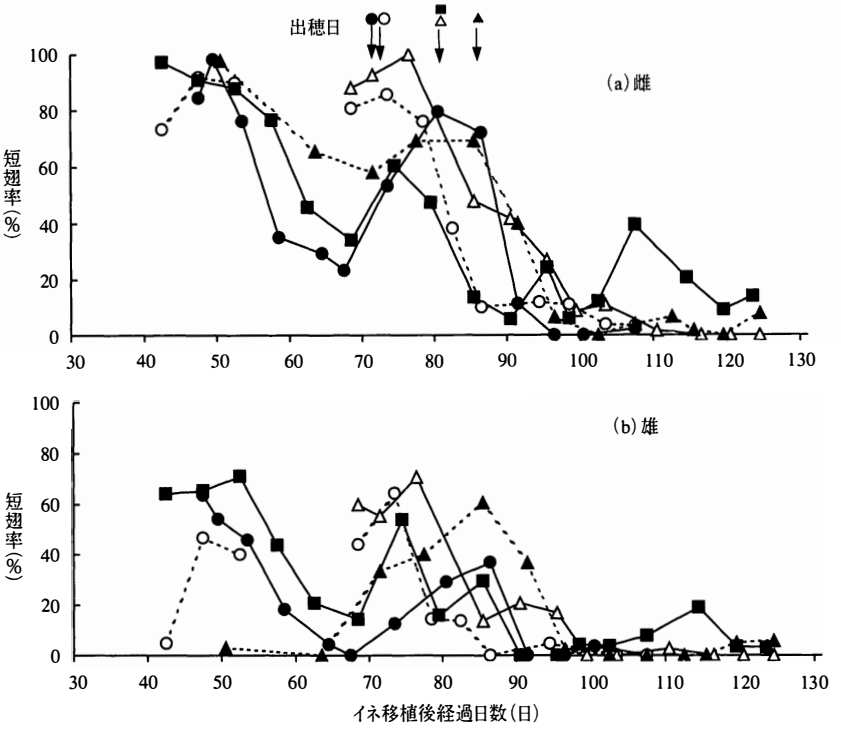
2　短翅率の経時的推移と予察上留意すべき点

筆者らは，水田における本種の短翅率の経時的推移を知る目的で1990～93年の4年間，水田から本種の5齢幼虫を約5日間隔で採集し，羽化成虫の翅型を調査した。その結果を図-3に示す。雌の短翅率の推移は各圃場とも類似した傾向を示し，移植40～50日後と75～85日後（出穂5日前～出穂10日後）にピークをもつ双峰型の変動を示した。日本の水田におけるトビイロウンカの雌短翅率の推移は，第1～第2世代の前半にかけては短翅率が高く，その後は次第に低下するとされている（岸本，1965）。しかし，図-3に示した結果では，雌短翅率は第1世代後半～2世代前半（移植60～70日後）にいったん低下して，その後再び高くなる双峰型の変動を示し，フィリピンにおけるCook and Perfect（1985）の結果と類似した変動パターンが，日本の水田においても現れることが明らかになった。短翅率の変動要因としては，トビイロウンカの生息密度とイネの生育ステージの影響が重要と考えられるが，詳細は菖蒲ら（2002）を参照されたい。

本種の高精度発生予察には，生息密度と雌の短翅率を正確に推定する必要がある。しかし，5齢幼虫の採集時期が5日早いか遅いかで，短翅率が大きく異なる場合もある（図-3）。そこで，5齢幼虫採集は予測される第1，第2世代幼虫ピーク時期のころに，それぞれ約5日間隔で少なくとも2回は行うことが望まれる。その際，圃場内の成・幼虫密度だけでなく，イネの品種や生育ステージなどの条件も把握しておくことが大切である。トビイロウンカの短翅率の変動は，圃場における個体群増殖パターンに大きな影響を与えることが指摘されており（寒川ら，1988；野田，1988），本種の個体群動態モデルを作る際には重要な要素となる。これまでいくつかの本種の個体群動態モデルが作られているが，今回示されたような短翅率の双峰型の変動を組み込んだものは少ない。今後，個体群動態モデルを改良する際には，このような双峰型の変動を組み込むとともに，変動の要因と考えられるイネの生育ステージや施肥の影響を考慮する必要があろう。

おわりに

ウンカ類の発生予察においては，従来から行われているトラップ調査による飛来時期・量の把握，定期巡回調査や予察圃場の調査による増殖世代の監視が重要なことは言うまでもない。これらに加え，今回紹介した予察技術に関する新知見が，発生予察の精度向上に少しでも役



図－3　5齢幼虫採集に基づくトビイロウンカの短翅率の推移
●：1990 年（品種ヨカミノリ，6 月 18 日移植，8 月 27 日出穂），○：1991 年（品種ヒノヒカリ，6 月 19 日移植，8 月 29 日出穂），△：1992 年（品種レイホウ，6 月 18 日移植，9 月 5 日出穂），▲：1993 年 A（品種ヒノヒカリ，6 月 7 日移植，8 月 30 日出穂），■：1993 年 B（品種レイホウ，6 月 24 日移植，9 月 11 日出穂）．1991 年 8 月中旬と 1992 年 8 月上～中旬は幼虫の発生が少なく未調査．

立てば幸いである。

引 用 文 献

1) 安斎政雄 (1998)：新・天気予報の手引 (改訂 29 版)，日本気象協会，東京，196 pp.
2) Cook, A. G. and T. J. Perfect (1985)：Ecol. Entomol. **10**：249～258.
3) 福地　章 (1999)：高層気象と FAX 図の知識 (改訂 7 版)，成山堂書店，東京，154 pp.
4) Iwanaga, K. et al. (1987)：Entomol. Exp. Appl. **43**：3～10.
5) 上和田秀美ら (1995)：九病虫研会報 **41**：65～68.
6) 岸本良一 (1965)：四国農試報 **13**：1～106.
7) ――― (1975)：ウンカ海を渡る，中央公論社，東京，233 pp.
8) ――― (1994 a)：植物防疫 **48**：34～38.
9) ――― (1994 b)：同上 **48**：78～83.
10) 気象庁 (1995)：最新数値予報ガイド，気象業務支援センター，東京，96 pp.
11) 久野英二 (1968)：九州農試彙報 **14**：131～246.
12) Nagata, T. and T. Masuda (1980)：Appl. Entomol. Zool. **15**：10～19.
13) 日本気象協会 (1996)：気象 FAX の利用法 Part II (改訂 2 版)，日本気象協会，東京，131 pp.
14) 野田博明 (1988)：植物防疫 **42**：209～212.
15) ――― (1989)：応動昆 **33**：263～266.
16) 大久保宣雄 (1973)：同上 **17**：10～18.
17) Seino, H. et al. (1987)：J. Agr. Met. **43**：203～208.
18) 寒川一成 (1992)：九病虫研会報 **38**：63～68.
19) ―――ら (1988)：植物防疫 **42**：205～208.
20) 末永　一 (1963)：九州農試彙報 **8**：1～152.
21) 菖蒲信一郎ら (2002)：応動昆 **46**：135～143.
22) ―――・御厨初子 (2000)：同上 **44**：101～112.
23) 山中正博ら (1989)：福岡農総試研報 **A-9**：51～56.