

850 hPa 数値予報図 (風・相当温位図) を用いたイネウンカ類の  
北部九州への飛来予測

菖蒲信一郎・御厨初子

佐賀県農業試験研究センター

Prediction of Long-Distance Migration of Rice Planthoppers, *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera* to Northern Kyushu Using Numerical Weather Prediction Chart for Wind and Equivalent Potential Temperature at 850 hPa. Shin-ichirou Syobu and Hatsuko Mikuriya (Saga Prefectural Agriculture Research Center, Nanri, Kawasoe-chou, Saga 840-2205, Japan). *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 44: 101-112 (2000)

**Abstract:** The massive immigration of rice planthoppers was forecasted based on the numerical weather prediction charts for wind and equivalent potential temperature at 850 hPa (850 hPa chart) provided by the Japan Meteorological Agency during the wet season in Japan. There was a good correlation between the occurrence of warm moist strong winds and immigration of rice planthoppers. An analysis of the 850 hPa chart could efficiently forecast rice planthopper immigrations into Kyushu in the wet seasons from 1996 to 1998. It was, therefore, concluded that this chart is more useful than the low-level jet stream data for investigating migration of rice planthoppers, because it gives not only information of wind but also temperature and humidity.

**Key words:** Rice planthopper, long-distance migration, numerical weather prediction chart, strong wind, equivalent potential temperature

## 緒 言

ウンカの海外飛来について, Seino et al. (1987) は, 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) との間に密接な相関があること実証し, 850 hPa 面の天気図を用いて, ウンカ類の飛来侵入時期を予知する方法を開発した. その後, この予知方法は, 高層天気図を利用した長距離移動性ウンカ類飛来時期予測のためのコンピュータプログラムとして渡邊ら (1988, 1990) により, 客観的に解析できるように改良された. 現在は, 植物防疫情報総合ネットワーク (通称 JPP-NET) に 850 hPa 面の風向・風速図が下層ジェット気流データとして登録されており, 植物防疫担当者はこれをウンカ類の海外飛来のモニターとして活用している. トビイロウンカは, 16.5°C 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°C 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, その高度付近の気温は約 16°C 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現象比較には, 多くの類似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) 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) のことである. これは気温と湿度の大きさで変化するため, 相当温位の高い空気は, 高温多湿であることを示す. 湿舌は下層ジェットと共に大雨の予測因子として注目されてきたが, 両者は相伴って発現することが多い (松本, 1987). また岸本 (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いる. 以上のことから, 850 hPa 風・相当温位図で示された, 湿舌のような高温多湿な強風域は, ウンカの長距離移動可能域にあたると思われる. よって本論文では, 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, その有効性の検討を行った.

なお, 本文に先立ち, トラップデータを快く提供していただいた長崎県, 熊本県, 鹿児島県の職員各位, 日頃より

1999年7月16日受領 (Received 16 July 1999)

2000年1月13日登載決定 (Accepted 13 January 2000)

多くのご指示を頂いた佐賀県農業試験研究センターおよび農業技術防除センターの職員各位、本稿をとりまとめるうえで、多くの示唆に富む御助言を頂いた、元鹿児島県農業試験場の深町三朗氏、農林水産省農業研究センターの鈴木芳人博士、佐賀地方気象台の関係各位、本稿の御校閲を頂いた農林水産省農業研究センターの渡邊朋也博士、佐賀大学の藤條純夫博士に厚く感謝の意を表する。

## 解析方法

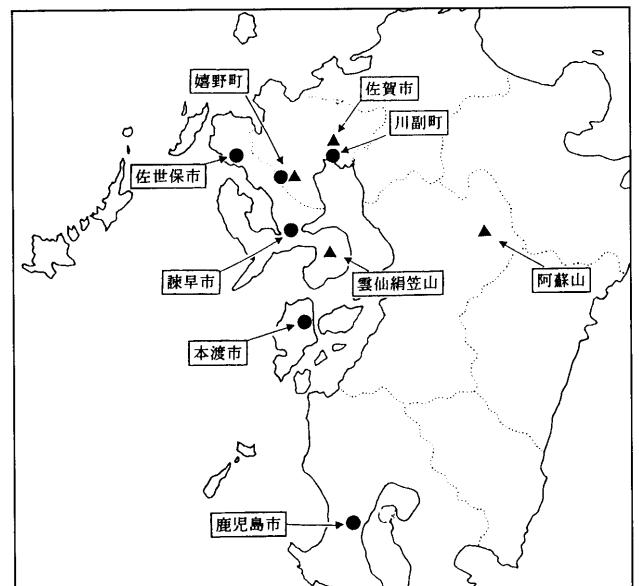
### 1. ウンカ類多飛来時（北部九州）のアメダスにおける気象観測値および 850 hPa 風・相当温位図による暖湿強風域の出現状況

第1図に示す佐賀県および長崎県のトラップ設置場所におけるウンカ類の誘殺数から、1996～1998年の3年間の北部九州へのウンカ類の飛来時期および量を調べた。それら以外に熊本県のトラップデータも補完的に利用した（鹿児島県のデータは、後述の南部九州への飛来の解析で利用）。トラップの種類は、ネットトラップ（地上約10mに設置した直径1mのネット）と予察灯（60W白熱灯）である。ネットトラップでは、飛来したウンカを直接ネットで受けるため、いち早く飛来ピークを検出できるのに対し、予察灯では飛来してきたウンカが定着する前に、水田の周辺で小移動する結果、海外飛来後尾をひくように誘殺が続く場合がある（岸本，1975）。このことを考慮し、佐賀県、長崎県のネットトラップでウンカ類が多数誘殺された日を北部九州における飛来日とし、ネットトラップへの誘殺が比較的少なくても、予察灯で多数の誘殺がみられた場合、その前日を飛来日とした。ネットトラップでは飛来日とその翌日を含む2日間（飛来日が7月3日の場合、7月3および4日）、予察灯では飛来翌日からの2日間（飛来日が7月3日の場合、7月4および5日）の合計誘殺数が特に多かった飛来波を多飛来波として検出した。ネットトラップでは、前日と比較し誘殺数が急激に増加し百頭以上となった場合を、予察灯では、前日と比較し誘殺数が急激に増加し千頭以上となった場合を多飛来の目安とした。

岸本（1975）が低気圧の通過時に頻りにネットトラップによる捕獲虫を取り出した調査では、南西の雨まじりの強風が吹きはじめてからウンカが捕獲されている。よって、トラップ調査で大量の誘殺がみられ、佐賀県内外のアメダス毎時データから、強い南西よりの風が吹き始めた頃を一応のウンカの飛来開始時刻とした。この時刻を起点とした10時間のアメダスデータからウンカ飛来時の風、気温、降水量を調べた。強風は断続的に長時間継続する場合もあったが、その場合は、特に顕著な強風が観測された時刻を起点とした、10時間のアメダスデータを調べた。アメダス観測地点として佐賀県の佐賀市（海面からの高さ4m）および嬉野町（81m）、長崎県の雲仙絹笠山（849m）、熊

本県の阿蘇山（1,143m）の4地点のデータを利用した（第1図）。なおそれぞれの観測地点において、風向風速計は地上約10m（佐賀市だけ地上56.2m）の高さに設置してある。

最近、気象予報において、運動方程式や熱力学方程式等を用いて、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850hPa風・相当温位図も、数値予報により現在では12, 24, 36, 48時間予想図が12時間毎（1日2回）に気象庁の数値予報課で作成され、FAX図として配信される（気象庁，1995）。今回の解析では、850hPa風・相当温位図の12時間予想図を用い、1996～1998年のウンカ多飛来前後の、850hPaの暖湿強風域の出現状況を調べた。なお、風については風速20kt以上の強風域（Seino et al., 1987）に注目した。相当温位については、地表の気温が25°Cの場合、850hPaの高相当温位の目安が334～340Kとされていること（福地，1999）を考慮し、今回は特に336K以上の相当温位に注目した。一般に、梅雨前線帯ではその西半分の中国大陸から東シナ海にかけての前線は南北方向の温度勾配は強くなく、むしろ比湿（1kgの空気中の水蒸気量）の南北勾配が顕著である（浅井，1996）。相当温位は水蒸気量の違いも表現できるので、気温だけに比べ前線を特定しやすい。特に梅雨前線のように、温度傾度より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る（日本気象協会，1996）。よって、相当温位線が混んでいる場所から梅雨前線の位置も推定した。



第1図 解析に用いたトラップの設置場所およびアメダス観測地点。●：トラップ設置場所、▲：アメダス観測地点。

2. 850 hPa 風・相当温位図を用いた北部および南部九州におけるウンカ類の飛来予測と実際の飛来状況

1996~1998年の6~7月の850 hPa 風・相当温位図(12時間予想図)を用いて、前述の強風域および暖湿強風域の出現日を調べた。なお強風域(暖湿強風域)が、中国華南から北部九州あるいは南部九州に達しているか否かに分けて検討を行った。また強風域(暖湿強風域)の発達程度も調べた。さらに相当温位から推定される前線の位置にも注目した。北部九州へのウンカ類の飛来は、前述の佐賀県川副町および長崎県諫早市のネットトラップでの誘殺ピーク時期から判定した。南部九州へのウンカ類の飛来は、鹿児島県鹿児島市(第1図)のジョンソントラップ(地上12mに設置した大型吸引トラップ)での誘殺ピーク時期から判定した。また長期にわたり断続的に誘殺がみられても、その期間中に誘殺数の大きな変動がみられる場合は、誘殺ピーク時期を二つに分けた。

以上より、850 hPa 風・相当温位図の強風および暖湿強風域が出現した日とトラップデータから得られた実際の飛来時期を比較することにより、850 hPa 風・相当温位図による飛来予測の可否を検証した。

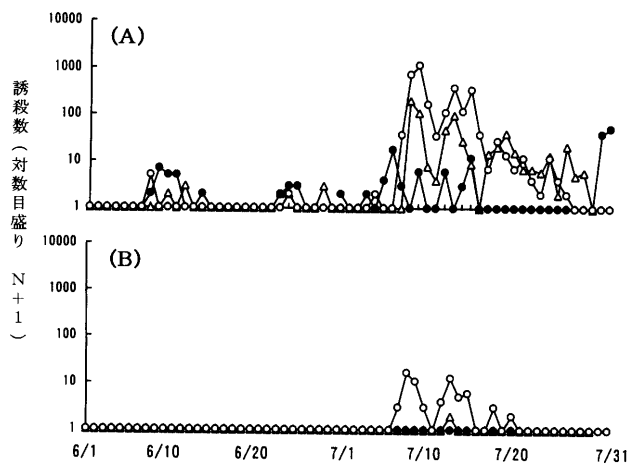
結 果

1. ウンカ類多飛来時(北部九州)のアメダスにおける気象観測値および850 hPa 風・相当温位図による暖湿強風域の出現状況

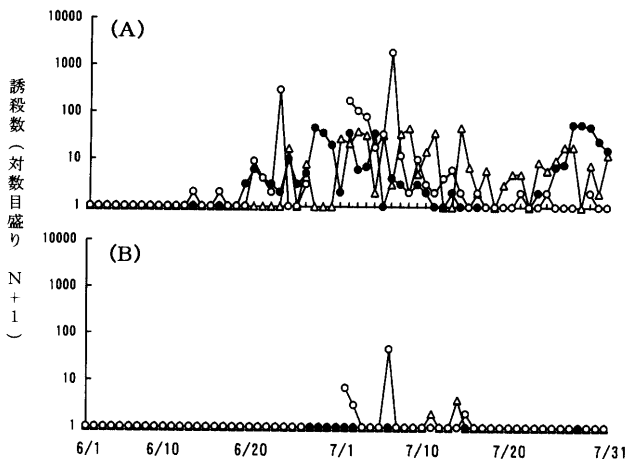
1996, 1997 および 1998 年の 6~7 月の佐賀県におけるウンカ類のトラップへの誘殺数を第2, 第3, 第4図に示す。この中で、佐賀県, 長崎県(北部九州)で特に誘殺が多かった5つの飛来波を第1表に示す。この間、1998年

の6月19日から6月22日にかけて、トラップには断続的にウンカの誘殺がみられたが、佐賀県では6月20日は移動性高気圧に覆われ、この前後ではっきりとした気象変化がみられたため、6月19日と6月21日の2つの飛来波に分けた。

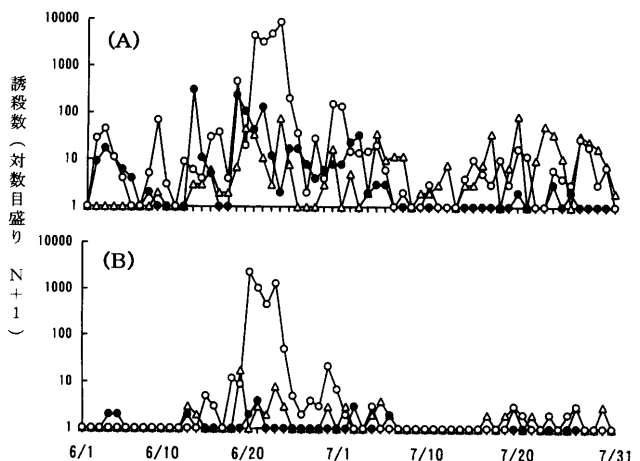
これらの5つの多飛来について、佐賀県内外4地点のアメダス毎時データから、南西よりの強風が特に顕著に吹き始めた時刻を起点とした10時間の風、気温、降雨の状況を第2表に示す。それぞれの飛来波で、南西あるいは西よりの強風が吹き、断続的に激しい降雨がみられた。特に絹笠山では風速 8.6~13.4 m/s (約 18~26 kt), 阿蘇山では風速 7.7~17.4 m/s (約 16~35 kt) の強風が吹いた。また



第3図 セジロ, トビイロウンカのトラップへの誘殺数(1997年)。(A) セジロウンカ, (B) トビイロウンカ。  
△: 川副町設置の子察灯, ●: 川副町設置のネットトラップ, ○: 嬉野町設置の子察灯。



第2図 セジロ, トビイロウンカのトラップへの誘殺数(1996年)。(A) セジロウンカ, (B) トビイロウンカ。  
△: 川副町設置の子察灯, ●: 川副町設置のネットトラップ, ○: 嬉野町設置の子察灯。



第4図 セジロ, トビイロウンカのトラップへの誘殺数(1998年)。(A) セジロウンカ, (B) トビイロウンカ。  
△: 川副町設置の子察灯, ●: 川副町設置のネットトラップ, ○: 嬉野町設置の子察灯。

第1表 1996～1998年のウンカ類多飛来時（北部九州）におけるウンカ類のトラップへの誘殺数<sup>a</sup>

年次	飛来日 <sup>b</sup>	佐賀県			長崎県			熊本県
		川副町	嬉野町	嬉野町	諫早町		佐世保市	本渡市
					ネット <sup>c</sup>	子察灯 <sup>d</sup>	子察灯 <sup>d</sup>	子察灯 <sup>d</sup>
1996年	7月4日	34 (0)	34 (0)	1,919 (46)	111 (0)	648 (6)	681 (4)	1,011 (6)
	7月8日	5 (0)	117 (0)	1,346 (12)	16 (0)	2,692 (3)	66,549 (0)	375 (3)
1997年	7月11日	5 (0)	146 (1)	498 (15)	13.5 (0.5)	754 (20)	74 (1)	74 (6)
	6月19日	147 (1)	43 (2)	7,732 (3,324)	36 (0)	1,530 (11)	362 (52)	0 (0)
1998年	6月21日	139 (3)	77 (8)	13,561 (1,765)	5.5 (0)	473 (16)	362 (52)	3,366 (0)

<sup>a</sup> 上段はセジロウンカ、下段の（ ）内はトビロウンカの誘殺数。

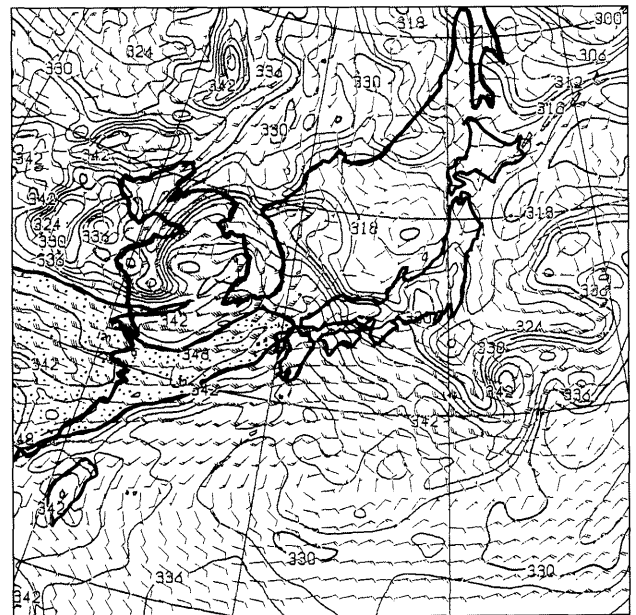
<sup>b</sup> 佐賀県、長崎県のネットトラップ（長崎県は2個の平均）でウンカ類が多数誘殺された日を飛来日としたが、ネットトラップの誘殺数が少ない場合は、子察灯のデータも飛来日の特定に補完的に利用した。参考として、熊本県のトラップデータも付記した。


<sup>c</sup> ネット（ネットトラップ）では、飛来日とその翌日の2日間の合計誘殺数。

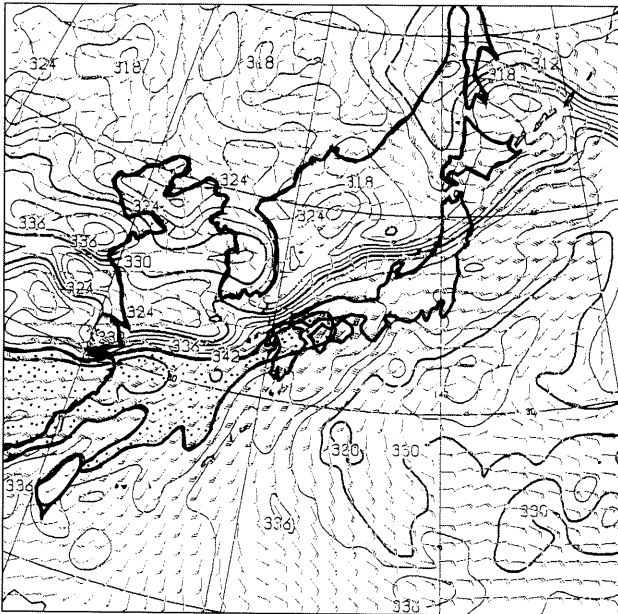
<sup>d</sup> 子察灯では、飛来日の翌日から2日間の合計誘殺数。

その時の衣笠山および阿蘇山の気温は18～21℃であり、梅雨期間中の標高約1,000mの気温としては高い気温であった。

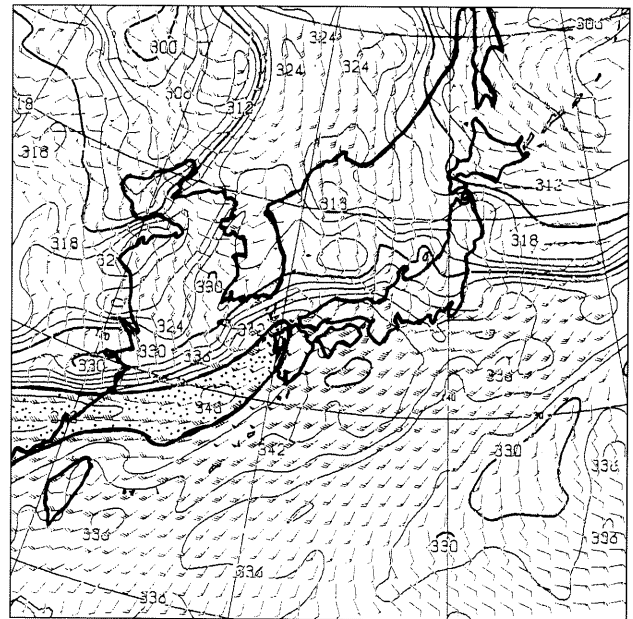
次にウンカ飛来時の850hPaの暖湿強風域の出現状況を850hPa風・相当温位図から調べた。例として、3つの多飛来時の850hPa風・相当温位図を第5～7図に示す。ウンカ多飛来時の九州付近での暖湿強風域には、共通の特徴がみられた。一例として第7図をみると、高い相当温位線が九州北部に舌状に流れ込む形でみられ（高温多湿な空気が侵入）、さらにこの付近は西南西～南西の強風域となっていた。また相当温位線が北緯35度付近（九州付近、東経130度）で混んでおり、このあたりに梅雨前線があると推定された。さらにその前線付近では、北あるいは東よりの風もみられた。5回の多飛来時に九州付近でみられた暖湿強風域と前線の位置には、共通の特徴がみられた（第3表）。すなわち相当温位339～348Kの暖湿な、風速30～70ktの強風域が九州付近（北緯33～34度付近）で出現していた。また暖湿強風域のやや北側に梅雨前線が位置していた。第5～7図に示すように、ウンカ多飛来時に九州付近でみられた暖湿強風域は、同時に中国華南方面（北緯23～30度付近）まで、連なって出現していた。5波の北部九州へのウンカ多飛来の2～1日前の、中国大陸東岸付近でみられた暖湿強風域にも共通の特徴がみられた（第4表）。すなわち、相当温位342～348Kの暖湿な、南西よりの風速20～50ktの強風域が中国華南付近（北緯23～30度付近）から出現していた。



第5図 ウンカ多飛来時における850hPa風・相当温位 [1996年7月4日21時の予想図]。実線：相当温位(K)，矢羽：風向・風速(kt)（短矢羽↑：5kt，長矢羽↑：10kt，旗矢羽↑：50kt）。この図は7月4日9時を初期値とした12時間後の数値予報図。相当温位が高く（高温多湿）、南西よりで20kt以上の強風域がみられ、かつ336K以上の相当温位の地域は網掛け域（）で示した。



第6図 ウンカ多飛来時における 850 hPa 風・相当温位 [1997年7月8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7月7日21時を初期値とした12時間後の数値予報図. 相当温位が高く (高温多湿), 南西よりで 20 kt 以上の強風域がみられ, かつ 336 K 以上の相当温位の地域は網掛け域 ( ) で示した.



第7図 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. 相当温位が高く (高温多湿), 南西よりで 20 kt 以上の強風域がみられ, かつ 336 K 以上の相当温位の地域は網掛け域 ( ) で示した.

## 2. 850 hPa 風・相当温位図を用いた北部および南部九州におけるウンカ類の飛来予測と実際の飛来状況

1996~1998年の6~7月における, 北部および南部九州におけるウンカ類の飛来予測と実際の飛来状況を第5~7表に示す. 南部九州における1996年6月20~23日, 1998年6月18~23日および北部九州における1998年6月18~21日および6月28日~7月2日の断続的な飛来は明確な2つの誘殺ピークがみられたため, それぞれ2つの飛来波に分けた. まず中国華南から九州へ伸びる強風域と暖湿強風域との関係を見ると, 北部九州において1996年6月27日~7月6日に強風域が, 6月27~29日および7月2~4日に暖湿強風域が顕著に出現した. この期間の北部九州へのウンカ類の飛来時期は6月27~29日および7月1~4日であり, 暖湿強風域の出現時期と一致した. また南部九州において1997年7月11~18日に強風域が, 7月12~13日および17~18日に暖湿強風域が出現した. この期間の南部九州へのウンカ類の飛来時期は7月12~13日および17~18日であり, 暖湿強風域の出現時期と一致した. このように, 強風域の出現日より暖湿強風域の出現日が限定される場合が多く, ウンカ類の飛来時期は, 強風域の出現日より暖湿強風域の出現日とよく一致した. さらに, 暖湿強風域が顕著に出現し, 北部あるいは南部九州に

おいてそれぞれやや北側に前線帯が推定された時期とウンカ類の飛来時期は特によく一致した.

また中国華南から伸びる暖湿強風域が, 北部九州にかけて顕著に出現した1997年7月6~9日には北部九州だけでウンカの飛来がみられ, 暖湿強風域が南部九州にかけて顕著に出現した1997年7月17~18日には南部九州だけでウンカの飛来がみられた. さらに, 中国華南から伸びる暖湿強風域が, 北部および南部九州にかけて顕著に出現した1998年6月18~20日には北部および南部九州でウンカの飛来がみられた. このように, 中国華南から伸びる暖湿強風域の出現位置に注目すれば, 北部九州と南部九州を分けてウンカ類の飛来予測をすることも可能であった.

## 考 察

ウンカの長距離移動を考えるうえで重要なのは, 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, 1994a) である. 岸本 (1994a, b) は, 東シナ海の調査で, ウンカ類の飛来が海面上約 500~800 m の強い南西風と密接に関連していることを示したうえで, 海外でのレーダー利用による調査結果等も考慮し, 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.

第2表 ウンカ多飛来時におけるアメダス観測地点での気象データ

年次	日時 <sup>a</sup>	観測地 <sup>b</sup>	風向 <sup>c</sup> (16方位)	風速 <sup>d</sup> (m/s)	気温 <sup>d</sup> (°C)	降水量 <sup>e</sup> (mm)
1996年	7月4日22時	佐賀市	SW, SSW	7.0	25.7	4.5
	～	嬉野町	SW, SSW	5.3	25.0	20
	7月5日8時	衣笠山 阿蘇山	SW, WSW SW	12.2 13.3	20.1 18.5	62 29
1997年	7月8日14時	佐賀市	SSW, NW	3.0	23.0	69.5
	～	嬉野町	SW, N	2.4	21.1	77
	7月8日24時	衣笠山 阿蘇山	SW, WSW SSW, SW	9.4 7.7	20.1 19.5	39 31
1997年	7月11日21時	佐賀市	S, SSW	4.0	25.0	38
	～	嬉野町	SW	3.9	25.0	64
	7月12日7時	衣笠山 阿蘇山	WSW SW	11.1 10.0	21.4 19.0	15 97
1998年	6月19日4時	佐賀市	SW, NW	8.0	24.7	75.5
	～	嬉野町	SSW, NNW	4.4	23.8	127
	6月19日14時	衣笠山 阿蘇山	SW, WSW SW	13.4 17.4	21.1 20.0	157.5 70.5
1998年	6月21日4時	佐賀市	NE, S	5.7	22.8	17
	～	嬉野町	NNW, SSW	2.1	22.1	65.5
	6月21日14時	衣笠山 阿蘇山	SW, WSW SW, SSW	8.6 8.0	19.5 17.3	33 17.5

<sup>a</sup> 南西よりの顕著な強風が観察された時間帯 (10時間).

<sup>b</sup> 観測地は、順に佐賀県の佐賀市および嬉野町、長崎県の雲仙衣笠山、熊本県の阿蘇山.

<sup>c</sup> 平均的な風向.

<sup>d</sup> 10時間の平均値.

<sup>e</sup> 10時間の積算値.

第3表 北部九州へのウンカ多飛来時に九州付近で出現した暖湿強風域と前線付近の風の状況<sup>a</sup>

年次	月日 <sup>b</sup>	東経130度付近					前線付近の風	
		暖湿強風域の出現状況				前線位置 (北緯)	前線付近の風	
		出現場所 (北緯)	風向 (16方位)	風速 (kt)	相当温位 (K)		風向 (16方位)	風速 (kt)
1996年	7月4日21時	32°~35°	SW	30~35	342~348	38°	S, SSE	20
	7月5日9時	30°~34°	WSW	50~70	342~348	37°	N, NW	10~20
1997年	7月8日9時	32°~33°	WSW	30~35	342	34°	W, N	10~20
	7月8日21時	32°~33°	WSW, SW	30~40	342	35°	S, NE	20
	7月11日21時	33°~35°	WSW, SW	30~35	342	37°	S, SE	10~20
	7月12日9時	31°~35°	WSW, SW	30~35	339~342	38°	ESE	20
1998年	6月19日9時	32°~34°	SW	50~60	345~348	35°	ESE, ENE	10~20
	6月19日21時	29°~30°	WSW	30~40	342~348	31°	W, WNW	25~30
	6月21日9時	30°~34°	WSW, SW	30~35	339~342	35°	ESE, E	20
	6月21日21時	30°~32°	SW	40~45	339~342	33°	SE	10

<sup>a</sup> 850 hPa 風・相当温位図から読みとった値.

<sup>b</sup> トラップ調査より北部九州でウンカが多飛来がみられた日.

一方、渡邊 (1994) は、ウンカ類が下層ジェットの内側を移動しているという直接的な証拠は少ないが、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こ

とを指摘している。事実、下層ジェットの南北鉛直断面図 (Matsumoto et al., 1971; Matsumoto, 1972) をみると、下層ジェットの中心位置 (ジェット核) が 700 hPa 付近と

第4表 北部九州へのウンカ多飛来の2～1日前に中国大陸東岸付近で出現した暖湿強風域<sup>a</sup>

年次	月日 <sup>b</sup>	暖湿強風域の出現状況 (東経 120 度付近)			
		出現場所 (北緯)	風 向 (16 方位)	風速 (kt)	相当温位 (K)
1996 年	7 月 2 日 21 時	28°～33°	WSW	20～30	342～348
	7 月 3 日 9 時	28°～33°	WSW	25～40	342～348
	7 月 3 日 21 時	28°～34°	WSW	30～40	342～348
	7 月 4 日 9 時	28°～34°	WSW	30～50	342～348
1997 年	7 月 6 日 9 時	25°～31°	WSW	20～30	342～348
	7 月 6 日 21 時	24°～30°	WSW	20～35	342～348
	7 月 7 日 9 時	25°～30°	WSW, SW	20～30	342～348
	7 月 7 日 21 時	25°～30°	WSW, SW	20～30	342～348
	7 月 9 日 21 時	26°～30°	SW	20～40	342～345
	7 月 10 日 9 時	27°～32°	SW	30～40	342～345
	7 月 10 日 21 時	26°～32°	SW	30～35	342～345
7 月 11 日 9 時	23°～30°	SW	30～40	342～345	
1998 年	6 月 17 日 9 時	25°～30°	WSW, W	20～40	345～348
	6 月 17 日 21 時	25°～30°	WSW, W	20～30	345～348
	6 月 18 日 9 時	25°～32°	SW	30～40	345～348
	6 月 18 日 21 時	25°～30°	WSW, SW	30～40	345～348
	6 月 19 日 9 時	25°～28°	WSW	30～45	345～348
	6 月 19 日 21 時	24°～27°	WSW, SW	30～45	342～348
	6 月 20 日 9 時	23°～28°	WSW	20～30	345～348
	6 月 20 日 21 時	25°～28°	WSW	30～40	342～348

<sup>a</sup> 850 hPa 風・相当温位図から読みとった値。

<sup>b</sup> トラップ調査から北部九州でウンカが多飛来がみられた2～1日前。

高い位置にある場合でも、その下層における強風域は、徐々に弱まりながらも 900～950 hPa 付近まで及んでいる。以上のことから、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 風・相当温位図から推察されると思われる。気象庁からは、主に 300 hPa 面 (約 9,000 m) から 850 hPa 面 (約 1,500 m) まで様々な等圧面高層天気図が提供されている。このうち 850 hPa 面は風や気温に対して山地など地表の局地的影響 (ノイズ) がほとんどなくなった最低の高さを反映している (安斎, 1998)。このことから、ウンカの長距離移動の解析には、地上天気図に比べノイズの少ない 850 hPa 面の情報の方が適しているといえる。また、数値予報システムには、大規模な山岳がモデルに組み込まれている (気象庁, 1995)。よって 850 hPa 風・相当温位図において、標高 1,500 m 以上の山地が存在する周辺の風系も、かなり正確に表現されていると思われる。

また今回解析に、標高約 1,000 m の観測地点のアメダス毎時データを用いた。山岳では地形性上昇気流の影響 (安斎, 1998) も全く無視はできないが、下層ジェットのような上空の強風は、それより下層の標高約 1,000 m の観測地点でかなり正確に把握可能と思われる。レーウィンゾンデ等による高層気象観測は、通常 1 日 2 回行われる。

一方山岳における観測は、地上観測と同様に時間的に連続的に行われるので、これまでも前線の構造解析等に利用されてきた (松本, 1987)。標高約 1,000 m のアメダス毎時データを用いると、ウンカの飛来をもたらした強風の吹き始めと終息の時刻を知ることができる。また高度はやや異なるが、850 hPa 風・相当温位図における相当温位線では具体的な数値として示されない、気温も把握できる。植物防疫担当者は、アメダス毎時データを、JPP-NET を用いて翌日には簡単に入手できる。よってウンカの飛来をモニタリングする地域の近くに一地点でも標高約 1,000 m のアメダス観測地点があれば、そのデータは、ウンカの飛来時の気象条件の解析等への利用価値が高いと思われる。

日本へ飛来するウンカの飛来源が主に中国大陸南部であることは、これまでたびたび指摘されている。東アジアにおけるトビイロウンカの発生移起源は、バイオタイプ形質を指標として調べられた結果、ベトナム北部付近が一次飛来源であり (寒川, 1992a)、中国華南が日本への直接飛来源 (二次飛来源) と推定されている (寒川, 1993)。また 850 hPa 面下層ジェットの後退流跡線を用いた解析により、日本へのイネウンカ類の直接飛来源は、東経 115 度以東、北緯 26 度以南の中国南東沿岸部の水稻二期作栽培地帯の第一期水稻とされている (寒川, 1994; Sogawa, 1995)。

第5表 北部および南部九州におけるウンカ類の飛来予測と実際の飛来状況 (1996年)

月 日	850 hPa の風・相当温位図によるウンカ類の飛来予測						ウンカ類の飛来状況				
	中国大陸～北部九州における出現状況 <sup>c</sup>		北部九州付近での前線帯 <sup>e</sup>	中国大陸～南部九州における出現状況 <sup>d</sup>		南部九州付近での前線帯 <sup>f</sup>	トラップ誘殺ピーク (北部九州)	誘殺数 <sup>g</sup>		トラップ誘殺ピーク (南部九州)	誘殺数 <sup>g</sup>
	強風域 <sup>a</sup>	暖湿強風域 <sup>b</sup>		強風域 <sup>a</sup>	暖湿強風域 <sup>b</sup>			佐賀 <sup>h</sup>	長崎 <sup>i</sup>		
6月3日				◎					6月3日	13	
6月4日				◎	◎	○			～6月4日	(0)	
6月11日				○							
6月12日				○	○	○					
6月13日				○	○	○					
6月14日	○			○	○	○					
6月15日	○			○	○	○					
6月16日	△	△	×	◎	◎	×					
6月17日	△	△	×	◎	◎	×					
6月19日	△	△	△	◎			6月19日	7	26.5		
6月20日	△	△	△	◎	◎	◎	～6月20日	(0)	(0)	6月20日	257
6月21日				◎	◎	◎				～6月21日	(0)
6月22日				△						6月22日	29
6月23日	△	△	△	△	△	△→○	6月23日	10	3.5	～6月23日	(0)
6月24日	△	△	○	△	△	○	～6月24日	(0)	(0)		
6月25日	○	○	◎	◎	◎						
6月26日	○	○	◎	◎	◎	◎				6月26日	137
6月27日	◎	◎	◎	◎	◎	◎	6月27日	99	32.5	～6月27日	(0)
6月28日	◎	◎	◎	◎	◎		～6月29日	(0)	(0)		
6月29日	◎	◎	◎	◎	◎						
6月30日	◎			◎	◎	◎				6月30日	3042
7月1日	◎			◎	◎	◎	7月1日	80	127	～7月9日	(9)
7月2日	◎	◎	◎	◎	◎	○	～7月4日	(0)	(0)		
7月3日	◎	◎	◎	◎	◎	○					
7月4日	◎	◎	◎	◎	◎	○					
7月5日	◎			◎	◎	◎					
7月6日	◎			◎	◎	◎					
7月7日				◎	◎	○					
7月11日	△			△							
7月12日	△		○	△	△	○					

<sup>a</sup> 西、西南西あるいは南西の風速 20 kt の強風域。

<sup>b</sup> <sup>a</sup> の強風域の高相当温位部分 (336 K 以上) を暖湿強風域とした。

<sup>c</sup> 中国華南から北部九州へ (<sup>d</sup> は南部九州へ) 伸びる強風域 (強風軸) が、◎: 顕著に出現, ○: 一部不連続に出現, △: 強風軸が北部 (南部) 九州からややずれて出現。

<sup>e</sup> 暖湿強風域が出現した期間中、相当温位から推定される前線帯が北部九州から (<sup>f</sup> 南部九州から), ◎: やや北側に存在, ○: さらに北方に存在, △: 南側に存在, ×: 存在しない。

<sup>g</sup> 上段がセジロウンカ, 下段 (一部右側) がトビロウンカの誘殺数。誘殺数は左側のピーク期間中の合計値。

<sup>h</sup> 佐賀県佐賀郡川副町のネットトラップ。

<sup>i</sup> 長崎県諫早市のネットトラップ (誘殺数は2個の平均値)。

<sup>j</sup> 鹿児島県鹿児島市のジョンソントラップ。

今回の解析で、九州地方にウンカが多飛来をもたらした 850 hPa 面から読みとれる暖湿強風域は、すべて中国華南方面 (東経 120 度, 北緯 23~30 度付近) から出現しており、上述の飛来源の推定を指示するものであった。

Seino et al. (1987) は、集中豪雨が下層ジェットの北方 100 km で発現しやすいことから、集中豪雨が梅雨前線上で起こるとすると、下層ジェットの中心域は、地上天気図による前線の南方 100 km に位置すると推論している。一

方 850 hPa 風・相当温位図を用いると、下層ジェットだけでなく、同時に前線の位置も知ることができる。今回の解析では、850 hPa 面の前線から約 200~300 km (緯度で 2~3 度) 南に強風域の中心がみられた。ただし寒暖の異なる気団が接触して作る境界面が前線面であり、前線面が地表面 (あるいは解析する高度の天気図面) と交わる線が前線である (安斎, 1998)。よって、一般に 850 hPa 面の前線の少し南側で地表の前線がみられる。事実、北部九州



第6表 北部および南部九州におけるウンカ類の飛来予測と実際の飛来状況 (1997年)

月 日	850 hPa の風・相当温位図によるウンカ類の飛来予測						ウンカ類の飛来状況				
	中国大陸～北部九州における出現状況 <sup>c</sup>		北部九州付近での前線帯 <sup>e</sup>	中国大陸～南部九州における出現状況 <sup>d</sup>		南部九州付近での前線帯 <sup>f</sup>	トラップ誘殺ピーク (北部九州)	誘殺数 <sup>g</sup>		トラップ誘殺ピーク (南部九州)	誘殺数 <sup>g</sup>
	強風域 <sup>a</sup>	暖湿強風域 <sup>b</sup>		強風域 <sup>a</sup>	暖湿強風域 <sup>b</sup>			佐賀 <sup>h</sup>	長崎 <sup>i</sup>		
6月 7日	○			○	○	◎					
6月 8日	○	○	◎	○	○	◎	6月 8日	11	16.5	6月 8日	55 (0)
6月 9日	○	○	◎	○			～6月 10日	(0)	(0)		
6月 20日				◎							
6月 21日				◎							
6月 22日				◎	◎	◎				6月 22日	20
6月 23日				◎						～6月 23日	(0)
7月 3日	△	△	○								
7月 4日	△	△	○								
7月 5日	△	△	○	△							
7月 6日	◎	◎	◎	△			7月 6日	24	28.5		
7月 7日	◎	◎	◎	△			～7月 9日	(0)	(0)		
7月 8日	◎	◎	◎								
7月 9日	◎	◎	◎								
7月 10日	○	○	◎								
7月 11日	◎	◎	◎	◎			7月 11日	5	13.5		
7月 12日	◎	◎	◎	◎	◎	◎	～7月 12日	(0)	(0)	7月 12日	99
7月 13日	◎	◎	◎	◎	◎	◎				～7月 13日	(7)
7月 14日	◎	◎	○	◎							
7月 15日	◎	◎	○	◎			7月 15日	11(0)	2(0)		
7月 16日	◎			◎							
7月 17日				◎	◎	○				7月 17日	192
7月 18日				◎	◎	◎				～7月 18日	(0)

<sup>a</sup>～<sup>j</sup>の説明は、第5表に準ずる。

にウンカが多飛来した時に、850 hPa 風・相当温位図で前線の位置が対馬付近 (北緯 34 度 30 分付近) と推定される場合、地上天気図での前線は、北部九州 (北緯 33 度 30 分付近) に位置している事例が多くみられた。したがって、地上天気図の前線位置から強風域の出現位置を推定する場合は、注意が必要である。なお下層ジェット気流の出現位置については、前線あるいは大雨域だけでなく、低気圧との相対的な位置関係もこれまで論じられている。Sogawa (1995) は、850 hPa 面に出現する強風域と地上の前線の位置を組み合わせて、ウンカの飛来を分析した。その結果、飛来の大半は、梅雨期の梅雨前線上の低気圧へ吹き込む南西モンスーン気流中に発達する、下層ジェットの出現と連動していると述べている。浅井 (1996) の総説によると、梅雨前線帯に沿って低気圧が東シナ海から西日本に接近するときには、低気圧南側の下層の南西風が著しく強化され、これが下層ジェットとして認識される。1998 年の 6 月 19 日 9 時の 850 hPa 風・相当温位図を例にとると (第 7 図)、対馬付近に位置する低気圧の中心に向かって風が周囲から左回りに吹き込んでおり、この低気圧の南側で、南西よりの強風域となっている。岸本 (1975) が指摘したとおり、

通常佐賀県にウンカが多飛来するのは、梅雨前線上を低気圧が通過し、大雨が降ったときである。よって、Sogawa (1995) が指摘するように、梅雨前線上を通過する低気圧と連動させて下層ジェットをとらえることも重要と考えられる。梅雨前線帯の低気圧は、通常の温帯低気圧より規模が小さく、地上天気図に低気圧を描き出すことは容易ではない (浅井, 1996)。しかし 850 hPa 風・相当温位図において周囲から左回りに吹き込む風から低気圧の存在が推定されれば、その動きに注目して暖湿強風域を検出することが可能である。

松本 (1987) は、梅雨期に中国大陸からの水蒸気の大きな流速があっても水蒸気は流れさるのみで、降水の源となるのは水蒸気の収束であるとしている。また寒川 (1992b) も、同様の見地から梅雨前線の北側のシベリア高気圧、南側の太平洋高気圧に割り込むように、南アジアから侵入する南西モンスーンに捕捉され中国南部から移送されてくるウンカは、前線に近づくにしたがって、その空中密度が濃縮されるとしている。850 hPa 風・相当温位図では、ウンカ多飛来時に暖湿強風域が中国大陸から九州北部に舌状に突っ込む形で出現していた。さらにその強風軸に

第7表 北部および南部九州におけるウンカ類の飛来予測と実際の飛来状況 (1998年)

月 日	850 hPa の風・相当温位図によるウンカ類の飛来予測						ウンカ類の飛来状況					
	中国大陸～北部九州における出現状況 <sup>c</sup>		北部九州付近での前線帯 <sup>e</sup>	中国大陸～南部九州における出現状況 <sup>d</sup>		南部九州付近での前線帯 <sup>f</sup>	トラップ誘殺ピーク (北部九州)	誘殺数 <sup>g</sup>		トラップ誘殺ピーク (南部九州)	誘殺数 <sup>g</sup>	
	強風域 <sup>a</sup>	暖湿強風域 <sup>b</sup>		強風域 <sup>a</sup>	暖湿強風域 <sup>b</sup>			佐賀 <sup>h</sup>	長崎 <sup>i</sup>			鹿児島 <sup>j</sup>
6月 1日	△			◎			6月 2日	34	12			
6月 2日	△	△	◎	◎	◎	◎	～6月 4日	(0)	(0)	6月 2日	29 (1)	
6月 9日				○	○	◎				6月 9日	5 (0)	
6月 10日				○								
6月 11日	◎											
6月 12日	◎			◎			6月 12日	302	70			
6月 13日	◎	◎	◎	◎	◎	◎	～6月 13日	(1)	(1)	6月 13日	110 (3)	
6月 18日	◎	◎	◎	◎	◎	◎	6月 18日	381	69	6月 18日	627	
6月 19日	◎	◎	◎	◎	◎	◎	～6月 20日	(1)	(1)	～6月 20日	(19)	
6月 20日	◎			◎								
6月 21日	◎	◎	◎	◎	◎	◎	6月 21日	128 (3)	4.5 (0)	6月 21日	1315	
6月 22日				◎	◎	◎				～6月 23日	(28)	
6月 23日	△			◎	◎	◎						
6月 24日	△	△	○				6月 24日	32	3			
6月 25日	△	△	○				～6月 25日	(0)	(0)			
6月 28日	○	○	○	○	○	○	6月 28日	12	1.5	6月 28日	93	
6月 29日	○			○	○	○	～6月 29日	(0)	(0)	～6月 29日	(1)	
6月 30日	◎	◎	◎	○	○	○	6月 30日	61	7			
7月 1日	◎	◎	◎				～7月 2日	(2)	(0)			
7月 2日	◎	◎	◎									
7月 3日	◎											
7月 18日	△	△	○	◎	◎	○				7月 17日	48	
7月 19日	△			◎	◎	○				～7月 18日	(7)	
7月 25日				◎	◎	○				7月 25日	62 (11)	
7月 26日				◎	◎	○						

a～jの説明は、第5表に準ずる。

対して、南側では南よりの風が吹き、北側では局部的には東方向等からの風もみられるが、大局的には北よりの風が吹く傾向がみられた。さらに暖湿強風域の南北幅は緯度にして、中国大陸東岸付近で約5度(約550 km)、九州付近で約2度(約220 km)であり、水蒸気(暖湿な空気)が九州に近づくと収束されていた。このことは、暖湿強風域の空間が狭くなることで、その中を飛翔中のウンカの密度が相対的に高くなること示唆している。ウンカの飛来量は、飛来源を飛び立つウンカの絶対量が強く関係するため、今回の解析例のように暖湿強風域が出現しても、九州地方へウンカの飛来がみられなかった場合もある。ただし、同じ規模でウンカが飛び立った場合、暖湿強風域が九州で収束する幅が狭いほどウンカの密度が濃縮され、多飛来となる可能性がある。この点は今後さらに多くの飛来事例について解析が必要である。

小倉(1984)は、相当温位の高い空気が上昇し、相当温

位の低い空気が下降している事例を示し、相当温位の分布だけからでも空気の上昇下降運動について大体の推測ができるとしている。850 hPa 風・相当温位図では、ウンカ多飛来時に前線帯の南側で高い相当温位の南西風、北側では大局的にみて低い相当温位の北よりの風が吹いていた。このことは、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。また数値予報モデルに高度、気温、風等の観測データを取り込むシステムの改良、あるいは水平・鉛直方向解像度の向上に代表される数値予報モデルの改良等により、現在の数値予報の精度はかなりの水準に達している(気象庁, 1995)。

以上のことから数値予報図である850 hPa 風・相当温位図は、これまでの下層ジェット気流の現況データ(850

hPa 面の風向・風速図) 同様, ウンカの空中移動における気象条件の大局的な把握が可能である。さらに風に加え気温, 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推測でき, しかも前線の位置から, ウンカの着陸に参与する気象現象(前線帯での風の攪乱, 気温の降下, 降雨等)の推察も一部可能である。よって 850 hPa の風・相当温位図は, ウンカ類の飛来予測に有効と思われ, 事実今回の解析でその有効性が実証された。本論文では, 北部および南部九州に出現した暖湿強風域と北部および南部九州内のウンカのトラップ誘殺数との関係を主に調べた。今後は, Watanabe and Seino (1991) が全国のトラップデータを用いて, イネウンカ類の飛来侵入地域と下層ジェットの発達領域の関係を調べたような手法で, 850 hPa 風・相当温位図についても全国規模での比較検討が必要である。また, この解析では梅雨期のウンカの飛来時に関して行ったが, 梅雨期以外の飛来(Sogawa, 1995)についても 850 hPa 風・相当温位図の有効性についての検討が望まれる。

### 摘 要

数値予報として, 気象庁で作成される 850 hPa 風・相当温位図を用い, 梅雨期の北部九州におけるウンカ多飛来時の, 暖湿強風域の出現状況を調べた。その結果, ウンカ飛来時には, 相当温位が高い暖湿な南西の強風域が中国華南方面(北緯 23~30 度付近)から北部九州付近(北緯 33~34 度付近)にかけて, 舌状に流れ込む形で出現していた。また暖湿強風域のやや北側には, 相当温位線から推定される梅雨前線が位置し, 前線付近とそのすぐ北側では, 北よりの風がみられた。

次に, 1996 年から 1998 年の梅雨期において, 北部あるいは南部九州における, 暖湿強風域の出現とウンカ類の飛来との関係を調べたところ, 両者の間には高い相関が認められた。

以上のことから 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, ウンカの着陸に参与する気象現象(前線帯での風の攪乱, 気温の降下, 降雨等)の推察も一部可能であるため, ウンカ類の飛来予測に有効と思われた。

### 引 用 文 献

安齋政雄 (1998) 新・天気予報の手引(改訂 29 版)。日本気象協会, 東京。196 pp. [Anzai, M. (1998) *New Guide for the Weather Forecast*. 29th ed. Japan Weather Association, Tokyo. 196 pp.]

浅井富雄 (1996) ローカル気象学。東大出版会, 東京。233 pp.

[Asai, T. (1996) *Local Meteorology*. University of Tokyo Press, Tokyo. 233 pp.]

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. [Akira, F. (1999) *Knowledge on Aerology and Its Facsimile Chart*. 7th ed. Seizandou Book Co, Tokyo. 154 pp.]

岸本良一 (1975) ウンカ海を渡る。中央公論社, 東京。233 pp. [Kisimoto, R. (1975) *Transoceanic Migration of Planthoppers*. Chuokoron Pub. Co, Tokyo. 233 pp.]

岸本良一 (1994a) ウンカの研究 40 年の回顧と今後の動向 (2)。植物防疫 48: 34-38. [Kisimoto, R. (1994a) Studies for the past 40 years and future prospects in the planthoppers (2). *Plant Protect.* 48: 34-38.]

岸本良一 (1994b) ウンカの研究 40 年の回顧と今後の動向 (3)。植物防疫 48: 78-83. [Kisimoto, R. (1994b) Studies for the past 40 years and future prospects in the planthoppers (3). *Plant Protect.* 48: 78-83.]

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. [Japan Meteorological Agency (1995) *New Guide for the Numerical Weather Prediction*. Japan Meteorological Business Center, Tokyo. 96 pp.]

Matsumoto, S. (1972) Unbalanced low-level jet and solenoidal circulation associated with heavy rainfalls. *J. Met. Soc. Jpn.* 50: 194-203.

松本誠一 (1987) 新総観気象学。東京堂出版会, 東京。192 pp. [Matsumoto, S. (1987) *New Synoptic Meteorology*. Tokyodou Press, Tokyo. 192 pp.]

Matsumoto, S., K. Ninomiya and S. Yoshizumi (1971) Characteristic features of "Baiu" front associated with heavy rainfall. *J. Met. Soc. Jpn.* 49: 267-281.

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. [Japan Weather Association (1996) *Method of Utilizing the Weather Facsimile Part II*. 2nd ed. Japan Weather Association, Tokyo. 196 pp.]

小倉義光 (1984) 一般気象学。東大出版会, 東京。314 pp. [Ogura, Y. (1984) *General Meteorology*. University of Tokyo Press, Tokyo. 314 pp.]

大久保宜雄 (1973) 宙吊り飛しょう法によるウンカ類飛しょうの実験的研究。第 1 報 トビロウンカの飛しょうの特徴およびそれらに与える物理的環境条件の影響。応動昆 17: 10-18. [Okubo, N. (1971) Experimental studies on the flight of planthoppers by the tethered flight technique. I. Characteristics of flight of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål) and the effects of some physical factors. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 17: 10-18.]

Seino, H., Y. Siotsuki, S. Oya and Y. Hirai (1987) Prediction of long distance migration of rice planthoppers to northern Kyushu considering low-level jet stream. *J. Agr. Met.* 43: 203-208.

寒川一成 (1992a) わが国へ飛来するトビロウンカのバイオタイプ形質の変化とその飛来源地帯の推定。九病虫研会報 38: 63-68. [Sogawa, K. (1992a) A change in biotype property of brown planthopper populations immigrating into Japan and their probable source areas. *Proc. Assoc. Pl. Prot. Kyushu*

- 38: 63-68.]
- 寒川一成 (1992b) 海外飛来性イネウンカ類の管理技術の高度化. 九防協年報 1991: 59-66. [Sogawa, K. (1992a) Advanced management technique of overseas migratory rice planthoppers. *Ann. Kyushu. Pl. Prot. Assoc.* 1991: 59-66.]
- 寒川一成 (1993) トビイロウンカのバイオタイプ変異とモンスーン移動個体群の移出源の推定. 植物防疫 47: 256-260. [Sogawa, K. (1993) Biotypic variations in the brown planthopper and possible source areas of its monsoonic migrants. *Plant Protect.* 47: 256-260.]
- 寒川一成 (1994) 梅雨期にイネウンカ類をわが国へ長距離移送する上層気流の流跡線解析. 九農研 56: 94. [Sogawa, K. (1994) Trajectory analysis of upper winds mediating the overseas immigration of rice planthoppers into Japan in Baiu seasons. *Kyushu Agric. Res.* 56: 94.]
- Sogawa, K. (1995) Windborn displacements of the rice planthoppers related to seasonal weather patterns in Kyushu district. *Bull. Kyusyu Natl. Agric. Exp. Stn.* 28: 219-278.
- 渡邊朋也 (1994) 長距離移動性イネウンカ類の発生動態および水稲被害の解析. 京都大学学位論文. 193 pp. [Watanabe, T. (1994) Population dynamics of long distance migratory rice planthoppers, *Nilaparvata lugens* Stål and *Sogatella furcifera* Horváth, and growth and yield analysis of rice plant infested with these planthoppers. PhD thesis, Kyoto University, Japan. 193 pp.]
- Watanabe, T. and H. Seino (1991) Correlation between the immigration area of rice planthoppers and the low-level jet stream in Japan. *Appl. Entomol. Zool.* 26: 457-462.
- 渡邊朋也・清野 裕・北村實彬・平井剛夫 (1988) 長距離移動性ウンカ類の移動予知のためのコンピュータプログラム. 応動昆 32: 82-85. [Watanabe, T., H. Seino, C. Kitamura and Y. Hirai (1988) Computer program for forecasting the overseas immigration of long-distance migratory rice planthoppers. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 32: 82-85.]
- 渡邊朋也・清野 裕・北村實彬・平井剛夫 (1990) 高層天気図を利用した長距離移動性ウンカ類飛来時期予測のためのコンピュータプログラム (LLJET). 九州農試報告 26: 233-260. [Watanabe, T., H. Seino, C. Kitamura and Y. Hirai (1990) A computer program, LLJET, utilizing an 850 mb weather chart to forecast long-distance rice planthopper migration. *Bull. Kyushu Natl. Exp. Stn.* 26: 233-260.]