

イネウンカ類の長距離移動解析のための3次元モデル

中央農業総合研究センター おお つか あきら
大 塚 彰

はじめに

トビイロウンカやセジロウンカなどのイネウンカ類は、長距離移動性の害虫である。近年、それらの予察灯の誘殺数が減少傾向にあり、特にトビイロウンカは1999年以降大きく減少していることから、日本への飛来量が減少していると考えられてきた(渡邊・田中, 2002)。ところが、2005年には九州でトビイロウンカの発生量が多く、特に長崎県と佐賀県ではトビイロウンカに対して発生注意報が出された(長崎県, 2005; 佐賀県, 2005)。長崎県で坪枯れ発生が報告され、佐賀県でのトビイロウンカの発生株率は過去10年で最大となった。筆者が佐賀県で実施した坪枯れ被害分布調査でも、佐賀県南西部で坪枯れが多数発生していたことを確認し、また、これほどの被害は十数年来経験したことがないとの声が生産者から聞かれた。

坪枯れが増加した要因を解明するためには、栽培品種、防除方法、肥培管理などの生産管理的要因を検討すると同時に、坪枯れを引き起こした個体群の飛来源を推定し、そこでの発生状況を検討することが重要である。本解説では、我々が開発したイネウンカ類の移動解析を行うための2種類の3次元モデルの概要を紹介する。一つは飛来源を推定する後退軌道解析モデルで、もう一つは飛来予測を行うシミュレーションモデルである。これらのモデルを用いた解析により明らかとなった日本への飛来源や、東アジアでの様々な移動経路などについての最近の知見をまとめる。また従来との2次元解析手法との比較結果も紹介し、精度の違いを示す。なお、以下で紹介されるモデルや新しい知見は、農業・生物系特定産業技術研究機構と日本原子力研究所(現 日本原子力研究開発機構)が行った共同研究の成果である。

I 3次元後退軌道解析手法

1 モデルの特徴

本手法は、日本に設置されたトラップの上空から、ウンカの移動軌道を時間を遡る方向に計算し、飛来源を推

定する。具体的な方法は、まずグローバルな気象観測値から客観解析値と呼ばれる3次元格子点データが気象機関により求められているので、それを初期値として気象シミュレーションを行う。気象シミュレーションは、MM5と呼ばれる数値予報モデルを用いる。その結果、例えば、水平方向33 km、鉛直方向23層で1時間間隔の時空間的に変化する詳細な3次元風速場が得られる。次に、この風速場と後退軌道解析モデルを用いてウンカの後退軌道を計算する(OTUKA et al., 2005 a)。モデルでは、ウンカは飛翔しながら風に乗って移動すると仮定し、風速場ベクトルを逆方向に積算していく。この点で、3次元の流跡線解析と同じものである。後退軌道の起点は、トラップの上空、かつ飛来があったと考えられる時間帯とし、飛来源の可能性がある地域の上空、かつ飛び立ちの時間と考えられる現地の夕方もしくは明け方まで後退軌道を計算し、その到達点を終点とする。このようにして計算した後退軌道の一例を図-1に示す。1991年6月30日12時(世界標準時、以下同様)に諫早上空の100から1,500 mを起点とする15の後退軌道は、高度を変えながら南西へ移動し、28日21時に福建省沿岸部に到達した。終点の分布から飛来源が推定され、起点と終点の時刻から飛翔時間、さらに軌道から移動経路や飛

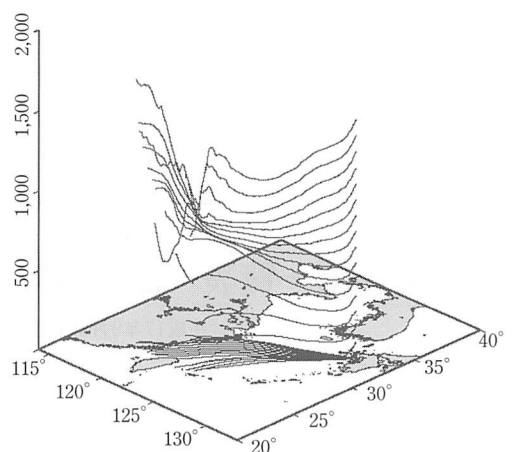


図-1 後退軌道の例

縦軸は高さ(m)である。起点は1991年6月30日12時(世界標準時)の諫早上空100から1,500 mである。終点は28日21時。地表面への投影軌道も描いてある(大塚ら(2005)より抜粋)。

Three-dimensional Models for the Migration Analysis of Rice Planthoppers. By Akira OTUKA

(キーワード: トビイロウンカ, セジロウンカ, 長距離移動, 飛来源, 3次元モデル)

翔高度などが推定される。このように3次元の後退軌道解析モデルは、単に飛来源推定だけでなく、長距離移動の種々のパラメータを推定できることが特徴である。

また、本手法は解析の時間分解能も向上させた。例えば、1969年6月25日7時から11時まで筑後市に設置されたネットトラップでセジロウンカとトビイロウンカの捕獲記録がある(KISIMOTO, 1971)。本手法を用いてこの飛来を解析すると、11時までの飛来が継続していた時間帯では後退軌道が福建省に到達したが、飛来が終了した12時を起点とする軌道は東シナ海上で終端し、陸地に到達しなかった(OTUKA et al., 2005 a)。このことは、捕獲調査と解析結果がよく一致したことを示しており、また、本手法が時間間隔の捕獲データの時間変化を説明できるようになったことを示している。

2 主要な飛来源の推定

次に、飛来解析を多数行い、九州に飛来するイネウンカ類の主要な飛来源を推定した(大塚ら, 2005)。解析では、1987年から2001年までの15年間の日別捕獲数を用いた。九州北部の佐賀県川副町と長崎県諫早市の予察灯と、九州南部の鹿児島県鹿児島市の吸引トラップで6月にセジロウンカが50頭以上捕獲された日を対象として(合計96日分)、後退軌道の終点分布を計算し、その頻度分布を求めた(図-2)。その分布と、飛来源となり得る陸地との重なりに注目すると、台湾海峡の兩岸と台湾東岸に終点分布が重なっていた。また終点分布の頻度がこれらの地域で高かった。すなわち、九州へ飛来するセジロウンカの主要な飛来源は、福建省沿岸部と台湾であろうと推定された。台湾が飛来源の可能性があると

指摘されるのは、この解析が最初である。梅雨時期は、台湾では二期作の第一期作が収穫時期に当たるために、移来源としては可能性がある。また、台湾では1990年代から現在にかけて、水稻の作付面積が半減しており、この減少時期と日本におけるイネウンカ類の飛来量が減少した時期とが重なるため、非常に興味深い。いずれにせよ、台湾が飛来源となるかについての証拠を積み重ねる必要がある、このため我々は梅雨時期の台湾での調査を予定している。

3 個体群の境界での移動

日本に飛来するトビイロウンカは、ベトナム北部から中国南部、台湾、韓国、日本などを分布域とする東アジア個体群に属すると考えられている(寒川, 1993)。このほかにフィリピンやインドネシアなどを分布域とする東南アジア個体群、インドなどを分布域とする南アジア個体群があり、これらの個体群は、水稻の抵抗性品種に対するトビイロウンカの加害性の検討などから、互いに独立して存在していると考えられてきた(寒川, 1993)。ところが、移動解析を進める中で、沖縄県においてフィリピンからの移動と推定されるトビイロウンカの捕獲ピークが見つかった(OTUKA et al., 2005 b)。すなわち、東南アジア個体群が、個体群間の境界を越えて、東アジア個体群の分布域に移動する可能性があるということがわかってきた。また同じ報告で、フィリピンから中国南部への移動が可能な気象条件も存在していたことが指摘されている。もし、このフィリピンから中国南部への移動が存在するならば、フィリピンからの個体群が中国南部を経由して日本へ飛来する可能性が出てくる。個体群間の境界を越える移動が東アジア個体群に与える影響の詳細はまだ不明であるが、トビイロウンカは個体群によって増殖率に影響を与える翅型発現性などの性質が異なるために、防除対策上、移動経路には注意しておく必要がある。この意味でも飛来源推定は重要である。

4 従来手法との比較

飛来源推定と同時に、従来の2次元手法との比較も行われた(大塚ら, 2005)。図-2と同じ起点終点時刻で、850 hPaの高層の風速データを用いて2次元解析を行った結果を図-3に示す。3次元の結果と比べると、終点分布が南西に移動していることがわかる。これは、ウンカが移動するような大気境界層では、上層と下層の風向、風速が異なることが原因とされる。850 hPaのような上層で南西風が吹いているときは、地表付近の下層では南寄りの風が吹いている。これは気象学的にはエクマンらせんという現象である。この立体的な構造によって2次元解析の結果が、3次元解析と比較して南西のバイアス

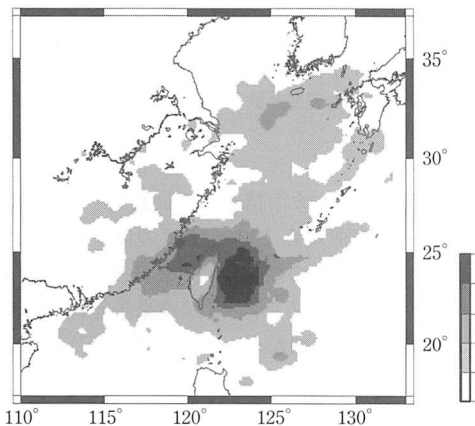


図-2 鹿児島市上空を起点する後退軌道の終点頻度分布
1987年から2001年までで、セジロウンカの日別捕獲数が50頭以上の日の軌道を計算した結果である。分布の単位は0.5度グリッドの中に位置した終点の数である(大塚ら(2005)より抜粋)。

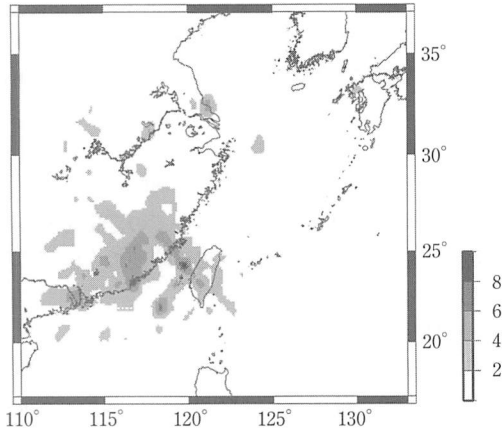


図-3 鹿児島市上空を起点する2次元後退軌道の終点頻度分布

図-2の2次元版の結果。分布の単位は0.5度グリッドの中に位置した終点の数である(大塚ら(2005)より抜粋)。

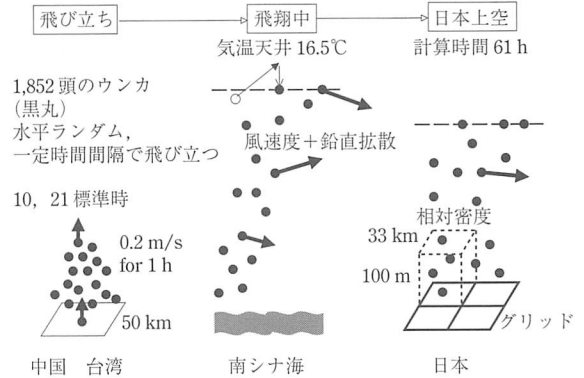


図-4 シミュレーションモデルの概念図

をもつことになる。このバイアスや、3次元手法の時間分解能の向上などを考えると、3次元後退軌道解析手法が従来手法より解析精度が高いと言える。

II 順方向の3次元シミュレーション手法

1 モデルの特徴

前章の手法は飛来源推定には有効であったが、ウカ移動時の振る舞いや大気拡散を考慮したような飛来予測には応用できなかった。そこで我々は、時間的に順方向のシミュレーション手法を開発した(Otuka et al., 2005 c)。手法は、数値予報モデルと長距離移動シミュレーションモデル・ゲルンから構成される。まず数値予報モデルと最新の気象データを用いて、大気場を予測する。次にゲルンを用いて、その予測場中で多数のウカを移動させ、飛来地域と飛来時期を予測する。まず図-4の左のように、中国南部と台湾に設定した17の飛び立ち地域(約50~100 kmの矩形)から一定数のウカを夕方と明け方に飛び立たせる。飛び立ち地域は、前章の飛来源解析結果や、水田分布などを基にして、中国南部の主要な水田地帯と台湾に設定された。飛び立ち後は、1時間だけ一定速度で上昇させる。これは、飛び立ち後レーダエコーが上昇するという中国でのレーダ観測による。図-4の中のように、移動中は風速で移動すると同時に鉛直拡散の効果を考慮する。また、ウカは気温が低いと羽ばたきを停止するので、モデルでは、16.5°C等温度面を超えて上昇した場合には、その温度面に降下させる。最後に図-4の右のように、日本上空ま

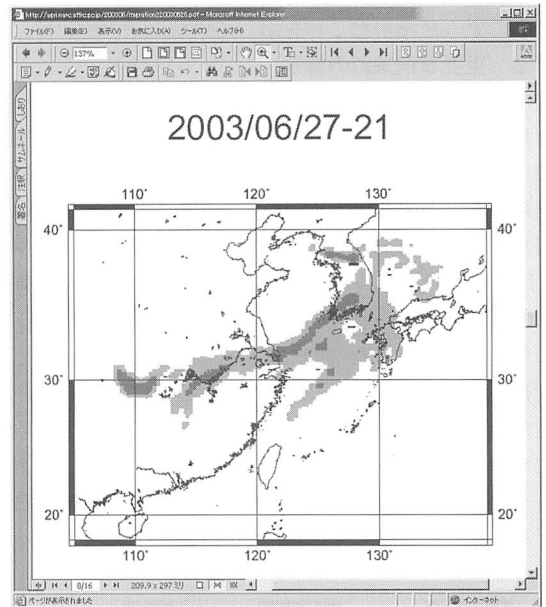


図-5 予測図の例

2003年6月27日21時に対する予測で、灰色の部分がウカの相対密度を示す(Otuka et al. (2005 c)より抜粋)。

で移動してきたらウカの格子内の位置から相対的な密度を計算し、地表面から100 mまでの最下層の水平分布を求める。この分布の変化から、2日後までの飛来地域と飛来時期を予測する。図-5は飛来予測図の一例である。このように、詳細なウカの振る舞いをモデル化していることが本モデルの特徴である。

2 飛来予測システム

このモデルを用いたリアルタイム飛来予測システムを開発し、実際に2003と04年の6月と7月に毎日予測をし、その結果を評価した。評価は、佐賀と熊本(ネットトラップ)、鹿児島(吸引トラップ)のセジロウカの

日別捕獲量を用いて行った。飛来を予測し、かつその日に捕獲があれば、その予測が的中したと判断した。その結果、予測的中率は74% (2003年)と84% (2004年)であった。現在、モデルの水平分解能は33 kmに設定されているので、例えば九州の北部には飛来するが、南部には飛来しないといった飛来地域の違いや、何時ごろに飛来するといった飛来時期の予測が可能となった。飛来源で飛び立つウシカの密度が不明であるため、飛来量予測はできていないが、もしその情報が利用できるようになれば予測可能となってくるであろう。

おわりに

新しく開発された3次元モデルによって、日本に飛来

するイネウシカ類の飛来源推定や飛来予測の精度が大きく向上し、日本への主要な飛来源や東アジアでの移動経路が多様であることなどがわかってきた。今後、本手法を用いて2005年に坪枯れが多発した要因を検討していくと同時に、飛来源と考えられる地域での調査も実施していく予定である。

引用文献

- 1) KISHIMOTO, R. (1971): Trop. Agri. Res. Ser. 5: 201 ~ 216.
- 2) 長崎県 (2005): 発生予察注意報第5号.
- 3) ОТУКА, A. et al. (2005 a): Agri. Forest Entomol. 7: 1 ~ 9.
- 4) ——— et al. (2005 b): Popul. Ecol. 47: 143 ~ 150.
- 5) ——— et al. (2005 c): Appl. Entomol. Zool. 40: 221 ~ 229.
- 6) 大塚 彰ら (2005): 応動昆 49(4): 187 ~ 194.
- 7) 佐賀県 (2005): 発生予察注意報第2号.
- 8) 寒川一成 (1993): 今月の農業 37(4): 36 ~ 40.
- 9) 渡邊朋也・田中 慶 (2002): 植物防疫 56: 459 ~ 462.

新しく登録された農薬 (17.11.1 ~ 11.30)

掲載は、種類名、登録番号：商品名 (製造業者又は輸入業者) 登録年月日、有効成分：含有量、対象作物：対象病害虫：使用時期等。ただし、除草剤・植物成長調整剤については、適用作物、適用雑草等を記載。(登録番号：21576 ~ 21596) 下線付きは新規成分。

「殺虫剤」

- アセフェート・イミダクロプリド水和剤
21579: ホクコーオ尔特ランアドマイヤー顆粒水和剤 (北興化学工業) 2005/11/02
アセフェート: 70.0%, イミダクロプリド: 10.0%
てんさい: テンサイトビハムシ, テンサイモグリハナバエ, 育苗期, ばれいしよ: アブラムシ類: 収穫14日前まで, かんきつ: アブラムシ類, ミカンハモグリガ, チャノキイロアザミウマ: 収穫30日前まで
- エトフェンプロックス水和剤
21580: アークリン水和剤 (アグロカネショウ) 2005/11/02
21581: 三井東庄アークリン水和剤 (三井化学クロップライフ) 2005/11/02
エトフェンプロックス水和剤: 20.0%
りんご: モモシンクイガ, キンモンホソガ, ハマキムシ類, なし: シンクイムシ類, ナシチビガ, アブラムシ類, ハマキムシ類, もも: モモハモグリガ, シンクイムシ類, くり: クリシギゾウムシ: 収穫14日前まで, かき: カキノヘタムシガ, チャミノガ, ハマキムシ類, カメムシ類, チャノキイロアザミウマ, カキクダアザミウマ: 収穫30日前まで
- クロチアニジン粒剤
21594: 協友ダントツ箱粒剤 (協友アグリ) 2005/11/16
クロチアニジン: 1.5%
稲 (箱育苗): ウシカ類, ツマグロヨコバイ, イネミズゾウムシ, イネドロオイムシ, ニカメイチュウ, フタオビコヤガ: 移植3日前~移植当日, 育苗箱の上から均一に散布する。
- クロチアニジン粉剤
21595: 協友ダントツ粉剤 DL (協友アグリ) 2005/11/16
稲: ウシカ類, ツマグロヨコバイ, カメムシ類, イナゴ類, イネドロオイムシ, フタオビコヤガ: 収穫14日前まで, ヨシ, オギ, ススキ, セイタカアワダチソウ等の多年生雑

草が優占している休耕田, 水田作物, 畑作物 (休耕田): カメムシ類

●オンシツツヤコバチ科

- 21596: 石原ツヤバラリ (石原産業) 2005/11/30
オンシツツヤコバチ羽化雌成虫: 100頭/カード
トマト, ミニトマト (施設栽培) オンシツツヤコバチ 25 ~ 50株/1カード: 発生初期: 放飼

「殺菌剤」

●フルオルイミド水和剤

- 21576: ストライド顆粒水和剤 (日本農薬) 2005/11/02
21577: クミアイストライド顆粒水和剤 (クミアイ化学工業) 2005/11/02
21578: 兼商ストライド顆粒水和剤 (アグロカネショウ) 2005/11/02
フルオルイミド: 75.0%
りんご: 斑点落葉病, 褐斑病, すず点病, すず斑病, 炭疽病: 収穫3日前まで

「除草剤」

- イマズスルフロン・カフェンストロール・ベンゾピシクロン水和剤
21582: 協友イッテツフロアブル (協友アグリ) 2005/11/02
イマズスルフロン: 1.7%, カフェンストロール: 5.7%, ベンゾピシクロン: 3.8%
移植水稻: 水田一年生雑草, マツバイ, ホタルイ, ウリカワ, ミズカヤツリ (北海道を除く), ヘラオモダカ (北海道, 東北, 九州), ヒルムシロ (北陸を除く), セリ, エゾノサヤヌカグサ (北海道), シズイ (東北), オモダカ (北海道, 東北), クログワイ (東北, 関東・東山・東海), コウキヤガラ (東北), アオミドロ・藻類による表層はく離 (北陸を除く) (42ページに続く)