

(原著論文)

## 花粉によるトウモロコシの交雑率とドナー花粉源距離との関係

川島 茂人<sup>1)</sup>・松尾 和人<sup>1)</sup>・杜 明遠<sup>1)</sup>・岡 三徳<sup>1)</sup>・大同 久明<sup>2)</sup>・  
高橋 裕一<sup>3)</sup>・小林 俊弘<sup>1)</sup>・井上 聡<sup>1)</sup>・米村正一郎<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 農業環境技術研究所 〒305-8604 つくば市観音台 3-1-3

<sup>2)</sup> 農業技術研究機構畜産草地研究所 〒329-2793 栃木県那須郡西那須野町千本松 768

<sup>3)</sup> 山形県衛生研究所 〒990-0031 山形市十日町 1-6-6

(2002年3月26日 受付, 2002年5月19日 受理)

Relationship between percentage of wind-pollinated maize hybrids  
and distance from donor pollen source

Shigeto KAWASHIMA<sup>1)</sup>, Kazuhito MATSUO<sup>1)</sup>, Mingyuan DU<sup>1)</sup>,  
Mitsunori OKA<sup>1)</sup>, Hisaaki DAIDO<sup>2)</sup>, Yuichi TAKAHASHI<sup>3)</sup>,  
Toshihiro KOBAYASHI<sup>1)</sup>, Satoshi INOUE<sup>1)</sup> and Seiichiro YONEMURA<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> *National Institute for Agro-Environmental Sciences  
3-1-1 Kannondai, Tsukuba 305-8604, Japan*

<sup>2)</sup> *National Institute of Livestock and Grassland Science  
768 Senbonmatsu Nishinasunomachi 329-2793, Japan*

<sup>3)</sup> *Yamagata Prefectural Institute of Public Health  
1-6-6 Tohkamachi, Yamagata 990-0031, Japan*

Gene flow from transgenic crops to related species has recently come into focus in risk-assessment studies of the ecological consequences of growing transgenic crops. This problem is especially serious in maize, as it is a representative wind-pollinated plant. We observed the spatial distribution of the hybrid percentage of maize seed by using the xenia phenomenon. Meteorological conditions were monitored simultaneously, and we examined changes in the hybrid percentage with variations in the meteorological conditions. We also investigated the relationship between hybrid percentage and distance from the donor maize field. The hybrid percentage decreased exponentially with the distance from the donor maize. The slope of decrease, which was not monotonously, showed large values for areas close to the donor maize, and small values for areas far from the donor maize. The decrease in the number of pollen grains deposited with distance from the pollen source showed the same pattern as the hybrid percentage. The change in the hybrid percentage with distance from the donor maize may be caused by changes in the spatial distribution of pollen deposition.

**Key Words :** maize pollen, hybrid percentage, transgenic crops, pollen source distance, xenia

## はじめに

近年、遺伝子組み換え技術を用いて作られた作物の安全性や環境への影響が問題視されている。遺伝子組み換え体植物が環境に与える影響の1つとして、花粉の飛散によって起こる交雑が引き起こす遺伝子のフロー問題がある。これは、人為的に組み換えられた遺伝子が、非組み換え体植物の中に入り込み、自然界の中に広がってってしまうという問題である。とりわけ風媒花であるトウモロコシの場合には、気象条件次第でかなり広範囲に遺伝子組み換え体の花粉が拡散し、周辺に生育している非組み換え体トウモロコシに交雑を発生させる可能性がある。しかしながら、遺伝子組み換え体トウモロコシ（交雑を問題とするトウモロコシの側からみればドナー）から放出された花粉の周辺空間への飛散数は、ドナー群落からの距離に従って指数関数的に減少する。また、交雑を受ける非組み換え体トウモロコシ（レシピエント）自身も花粉を放出する。そこで、レシピエント側のトウモロコシにおける交雑率は、ドナー群落からの距離に従って急激に減少すると考えられる。

これまで、花粉による遺伝子のフロー（gene flow）を明らかにしようとする研究がいろいろと行われている。父系の形質の発現を見る方法（Kaufmanら<sup>(1)</sup>）、酵素をマーカーとする方法（Vezvaei and Jackson<sup>(2)</sup>）、遺伝子中の特徴的な部位（マイクロサテライト等）を見る方法（Viardら<sup>(3)</sup>）、景観的な見地から植物遺伝子の拡散を調査する方法（Sorkら<sup>(4)</sup>）などである。父系の形質の発現を見る方法の中には、実の形状や特質などをトレーサーとする方法や、特徴的な蛋白の発現をトレーサーとする方法などがある。Wangら<sup>(5)</sup>は、きび作物について圃場実験で花粉放出源からの距離と交雑率の関係を調べ、風速と風向は交雑率の大きさに大きく影響するが、距離に伴う交雑率の減衰率は変化しないことを示した。Rognliら<sup>(6)</sup>は、牧草について酵素をトレーサーとして遺伝子のフローを調べた。その結果、ドナー群落から75mまでは距離とともに遺伝子フローは急速に減衰するが、より遠方では距離による減衰は非常にゆるやかになることを明らかにした。Kwonら<sup>(7)</sup>は、遺伝子のフローをモニタリングする新たな手法を示すとともに、遺伝子フローの環境影響評価と危機管理について議論した。Lavigneら<sup>(8)</sup>は、種子の特性から花粉による遺伝子フローを推定する方法を示した。Richardsら<sup>(9)</sup>は、圃場実験に基づき、レシピエント群落の規模やドナー群落からの距離が遺伝子フローに与える影響を調べた。Louetteら<sup>(10)</sup>は、メキシコにおける伝統的な農業体系の中で、トウモロコシ間の遺伝子フローがどのように起きているかを、長期的な観点から明らかにした。

本研究では、短期的な遺伝子フローを明らかにするために、トウモロコシ種子の持つキセニア現象を利用して、風で運ばれる花粉によって発生する2種類のトウモロコシ間の交雑率を実験的に調べた。さらに、この交雑率が、ドナーとなるトウモロコシ群落からの距離によってどのように変化するかを、気象条件との関係に留意しながら検討した。

## 材料と方法

### 1. 実験材料と栽培方法

実験は、つくば市観音台にある独立行政法人農業環境技術研究所のA-1圃場（面積約20アール）において、2001年6月から9月にかけて行った。実験圃場の概況をFig. 1に示す。実験植物として、花粉源（ドナー）には、黄色の粒を産するハニーバンタム（サカタのタネ）を用い、花粉の受粉側（レシピエント）には、白色の粒を産するシルバーハニーバンタム（サカタのタネ）を用いた。ハニーバンタムは、播種から開花までの平均日数が約62日であるのに対し、シルバーハニーバンタムは、播種から開花までの平均日数が約65日である。そこでドナー側の播種日を3回に分け、レシピエント側の播種日と同じ日（6月5日）、3日後（6月8日）、6日後（6月11日）に播種を行った。畝間は70cm、株間は30cmとして、2粒ずつ蒔き、後日間引きを行った。30本ある畝には、西から東へ順に1から30の畝番号を付けた。

### 2. 花粉の観測方法

A-1圃場のレシピエント側のトウモロコシ群落内の中央ライン上6個所（ドナー群落の北1m, 10m, 20m, 30m, 40m, 50m）に、ダーラム（Durham）型花粉捕集器（西精機製）を設置した（Fig. 1）。各花粉捕集器では、2つの高さにワセリンを塗布したスライドガラス（76mm×26mm）を取り付けた。調査期間におけるトウモロコシの平均草高は約180cmであるが、花粉捕集器を畝間の中央に設置し、スライドガラスの高さを通常の測定と同じ地上120cmになるようにし、その花粉計測数を空中花粉飛散数とした。花粉捕集器の円盤上面は雨などの影響を受けるが、ここの中央部（地上125cm）にもスライドガラスを置き、この計測数を花粉落下数とした。スライドガラスの交換は、毎朝午前10時頃に行った。回収したスライドガラス上の花粉は、Carberla液で染色し、18mm×18mmのカバーガラスで覆った後、カバーガラス下のすべての花粉数を数えた。トウモロコシの花粉の平均粒径は約100 $\mu$ mと大きいため、顕微鏡の倍率は低めの100～200倍が適していた。計数値は1cm<sup>2</sup>当たりの値に換算し解析した。



### 3. 気象の観測方法

ドナーとなるトウモロコシ群落のほぼ中央において気象観測を行った (Fig. 1 の★). 観測用のポールを設置し, 気温・湿度 (地上 1.5m), 2 高度の風速 (地上 2 m, 4 m), 風向 (地上 4 m) を測定した. 気温・湿度センサーは通風管の中に設置した白金抵抗温度計を使用した. 風速・風向センサーは, 牧野応用測器社の光電式 3 杯風速計と光電式矢羽風向計を使用した. 測定されたデータは, 英工精機社のデータロガー (SOLAC III) に記録した. 降雨量は, 調査圃場から北西に約 200m 離れた所にある農業環境技術研究所気象観測露場での, 転倒升式雨量計による観測値を用いた. 気象観測結果は, 日別値として整理し, 解析した. また, より詳細に気象条件の影響を見るために, 主な

交雑が発生したと考えられる期間の気象観測結果は, 特別値として整理し, 解析した.

### 4. 交雑率の測定方法

播種後 84 日目の 9 月 3 日に交雑率を評価するための雌穂のサンプリングを圃場内に格子点において行った. 10 本の畝を等間隔に選び, 各畝についてドナーとレシピエントの境界から 0.3m, 1.2m, 2.1m, 以降 2.1m ごとに生育する個体を選び, 最も上方に位置する成熟した雌穂を採取した. 採取位置の個体が欠けていたり害虫による欠損が大きい場合は, 隣接する左右の個体から雌穂を採取した. 圃場全体で, 260 本 (10 畝 × 26 点) の雌穂を採取した. 採取した雌穂は, 包皮を剥いだ後, 粒列数, 一列粒数, および穂中の黄色

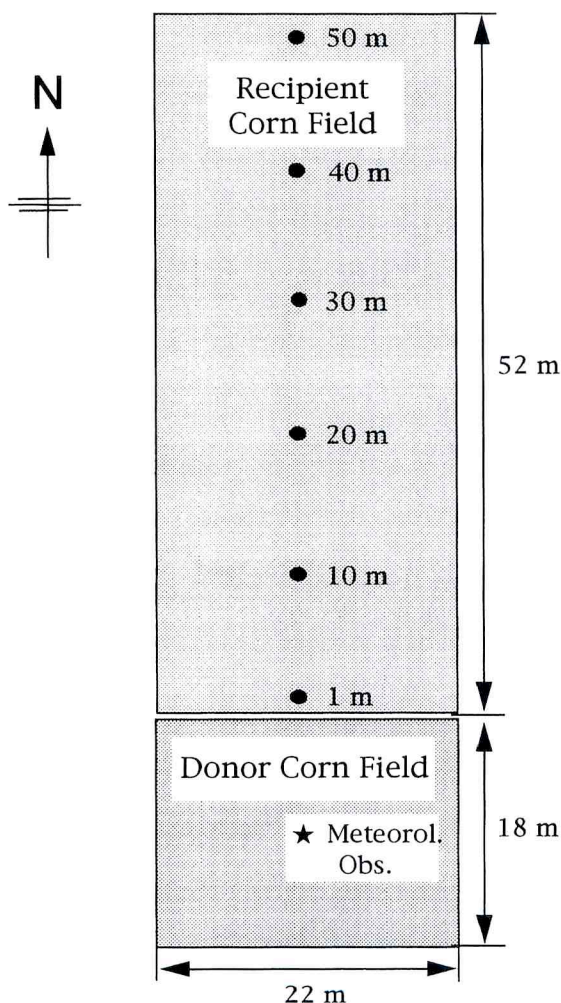


Fig. 1. Layout of the experimental field and the arrangement of the measuring instruments.

● : Pollen observation points with Durham sampler.

★ : Meteorological observation point.

粒数を数えた。

交雑の有無は、ハニーバンタムの花粉によりシルバーハニーバンタムが受精した場合、父系の粒色である黄色が発現するキセニア現象を利用して判定した。交雑率の評価は、もともと白色粒のシルバーハニーバンタムの雌穂中に出現する黄色粒数の割合で算出した。

雌穂の全粒数を計数するには多大の労力を要するため、以下の方法で推定した。長さの異なる18本の雌穂を選び、各穂ごとに、一列粒数の平均値、穂の中央部における粒列数、全粒数を計数した。一列粒数と粒列数の積と全粒数との関係を調べた結果、高い寄与率で一次回帰できることが明らかになった ( $R^2 = 0.74$ )。そこで、雌穂ごとに一列粒数と粒列数の積を求め、上記の回帰式を用いて全粒数の推定を行った。

## 結 果

### 1. 花粉飛散数・落下数

ドナーの花粉とレシピエントの花粉は区別をつけることができないため、測定された花粉数は両方の群落から飛来した花粉の合計である。捕集器の場所ごとの花粉飛散数及び落下数の積算値を調べた結果、ドナー群落からの距離に伴う飛散数や落下数の系統的な増減はないことがわかった。地点ごとに積算した飛散数の

平均値と標準偏差は  $538 \pm 167$  個、地点ごとに積算した落下数の平均値と標準偏差は  $701 \pm 187$  個であった。

トウモロコシ群落全体としての開花状況の変化を見るために、花粉飛散数の経日変化と花粉落下数の経日変化を Fig. 2 に示す。各日の値は、全捕集地点の合計捕集数である。この図から、開花期間は8月2日から8月15日までと考えられた。また、花粉飛散数のピークは8月5日で、ピーク後10日間位で花粉飛散は終了した。

### 2. 気象観測結果

開花期間を含む8月1日から16日までの気象観測結果について検討した。

#### 1) 日平均気温・日平均湿度

通常の年では、本調査時期は梅雨明け後の好天で気温の高い時期にあたるが、2001年は6月末に梅雨が明け、7月はじめから非常に暑い日が続く異常な年となった。そのあと、8月にかけて例年より涼しい夏となり、7月下旬から気温の低い日が5日程度の周期で現れた。Fig. 3 に調査期間中の日平均気温と日平均湿度の経日変化を示す。交雑率の実験を行ったドナー及びレシピエントのトウモロコシが開花した期間の中では、8月3日と4日に比較的気温が高かった。日平均相対湿度については、調査期間の後半で上昇する傾

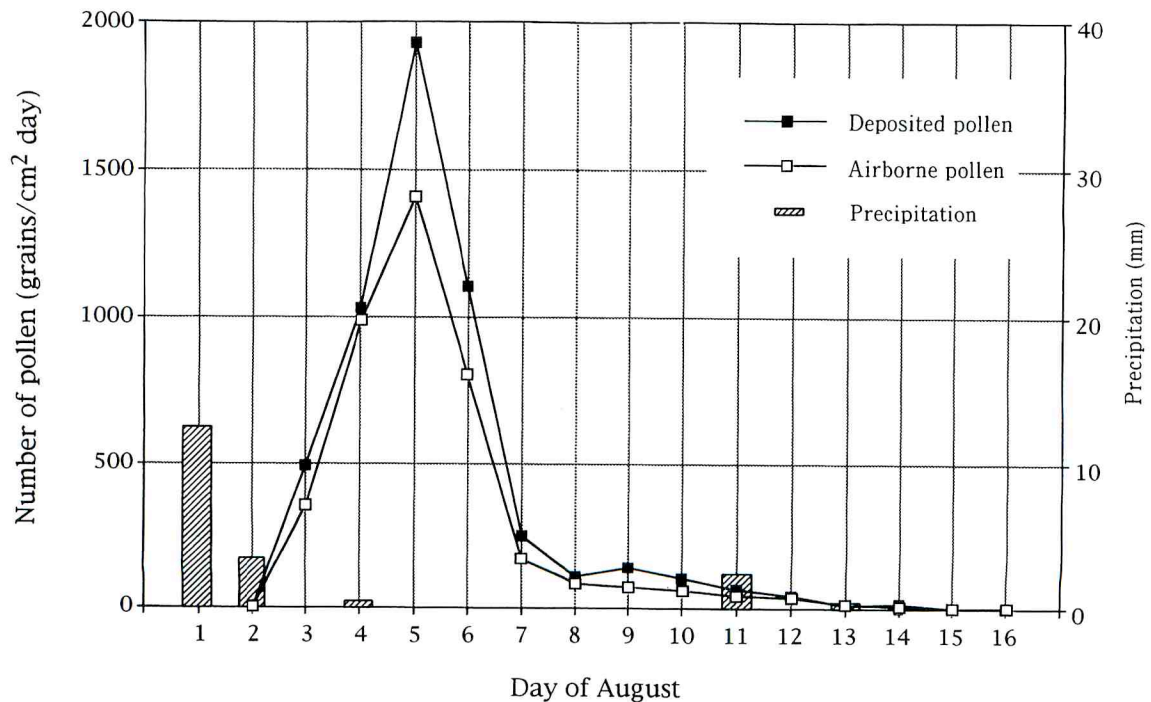


Fig. 2. Variation in the number of airborne pollen grains and deposited pollen grains with passage of day. Daily precipitation is shown with bar graph.

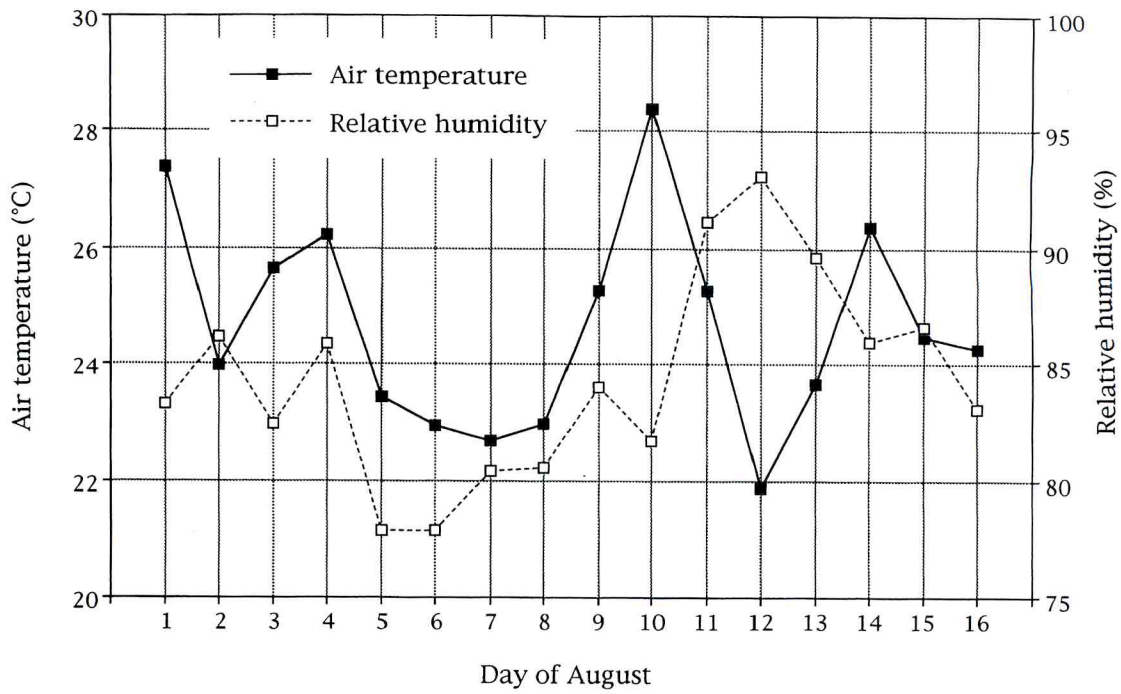


Fig. 3. Variation in the air temperature and the relative humidity with passage of day.

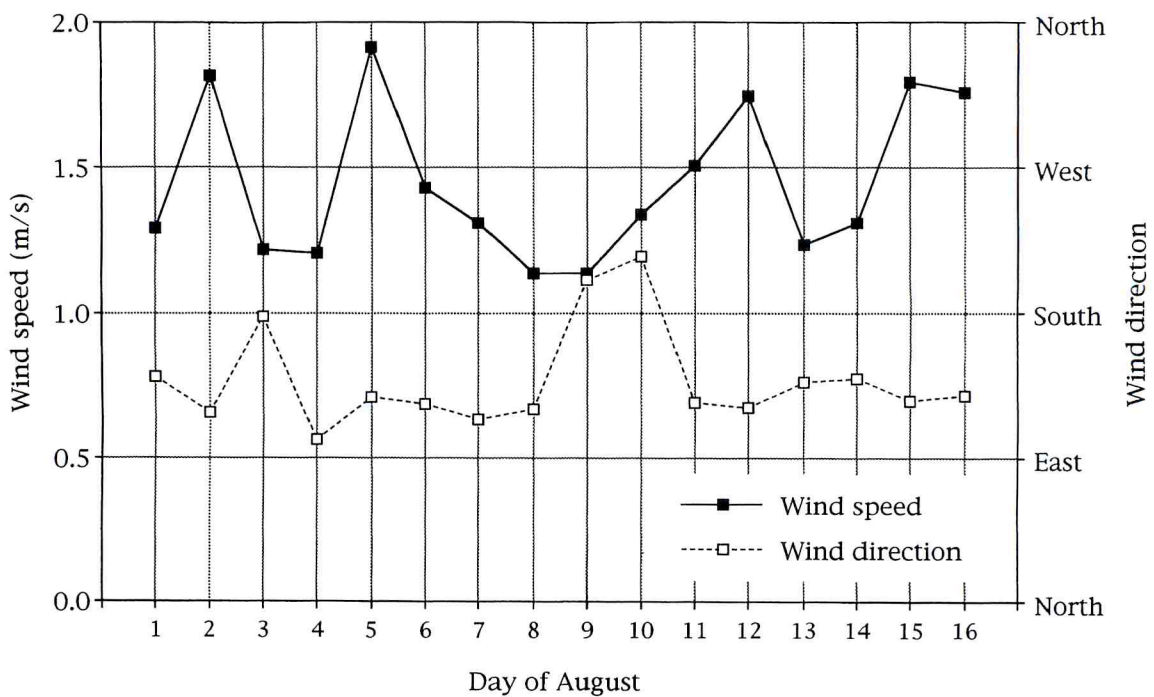


Fig. 4. Variation in the wind condition with passage of day.

A) Wind speed at 4 m height above the ground.

B) Wind direction at 4 m height above the ground.



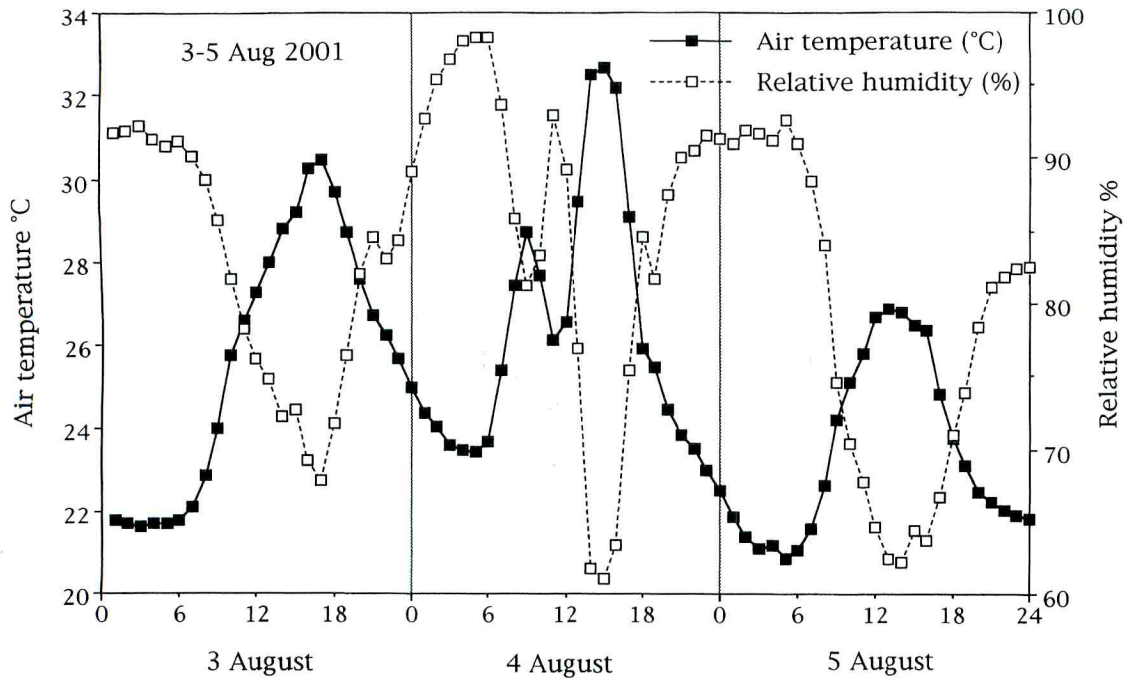


Fig. 5. Hourly variations in the air temperature and the relative humidity during the major period of pollen dispersion.

向が見られた。

#### 2) 日平均風速

Fig. 4 に調査期間中の日平均風速（地上高さ 4 m）の経日変化を示す。調査期間中に風速の強い日はなかった。8月2日、5日、12日などに若干強めの風速が記録されたが、この期間中は全体的に風速の弱い日が続いた。実験に用いたトウモロコシの主たる開花期間については、8月3日、4日は弱風、5日はやや強い風であった。

#### 3) 日平均風向

Fig. 4 に調査期間中の日平均風向（地上高さ 4 m）の経日変化を示す。調査期間を通じて、東と南の間の方向から風が吹く日が多く、例年からみると東よりの風が卓越した。梅雨明け直後の安定した天候であれば、南風が安定して吹く日が続くことが多いが、2001年の7月下旬から8月上旬にかけては、不順な天候となったため、風向も不安定な日が続いた。

#### 4) 毎時気温・湿度

Fig. 5 に、主な交雑が発生したと考えられる8月3日から5日の気温と湿度の経時変化を示す。8月3日は17時をピークとする夕刻に、8月4日は15時をピークとする午後に、気温の高い時間帯が見られた。8月5日は気温の日変化は見られたものの、最高気温でも13時の27°Cであった。相対湿度は、気温の日変化が

ピークとなる時間帯に60～70%、深夜から早朝にかけて90%以上となる、気温とは正負が逆の日変化パターンを示した。

#### 5) 毎時風速

Fig. 6 に8月3日から5日の風速の経時変化（地上高さ 4 m）を示す。8月3日は一日中1.5 m/s以下の弱風であった。8月4日は夕刻まで1 m/s以下で3日よりさらに弱い風であったが、17時から深夜にかけて突然強い風が吹いた。8時には3 m/sの風速を記録した。8月5日は一日中やや強い風が吹いた。特に11時から12時と、15時から20時にかけては2 m/s以上の風速を示した。

#### 6) 毎時風向

Fig. 7 に8月3日から5日の風向の経時変化（地上高さ 4 m）を示す。ドナー・レシピエント群落の配置に適した南よりの風が吹いたのは、8月3日の11時以降と、8月5日の12時から16時頃である。

#### 7) 降雨量

花粉飛散期間中、降雨が記録されたのは、8月2日、4日、11日、13日である（Fig. 2）。これら4日間の降雨量は少なく、これら以外の降雨はどれも主たる開花期間からずれていた。また、主な開花期間中の8月4日の降雨は深夜に降っていた。そこで、降雨は今回の調査にほとんど影響しなかったと考えられる。

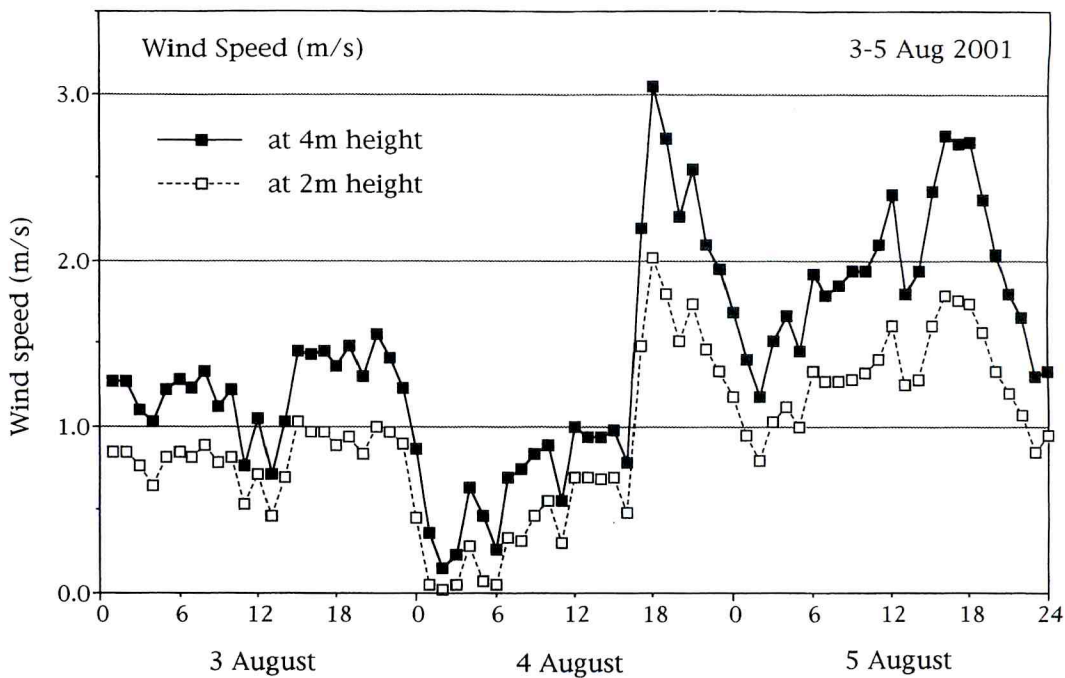


Fig. 6. Hourly variations in the wind speed at two heights during the major period of pollen dispersion.

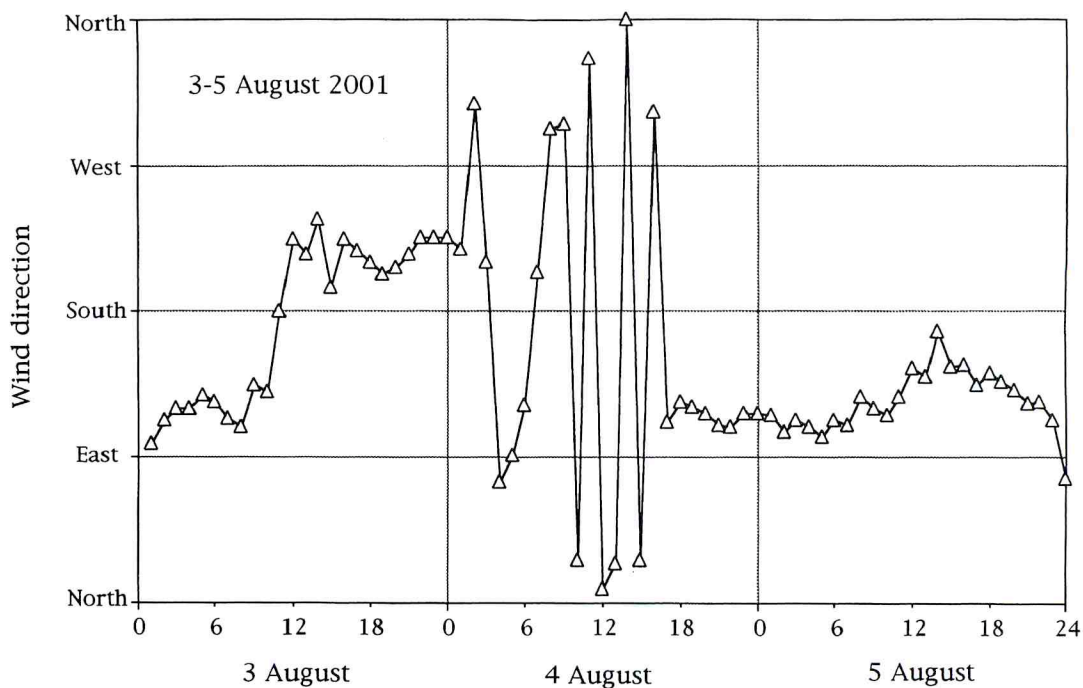


Fig. 7. Hourly variations in the wind direction at 4m height during the major period of pollen dispersion.

Table 1. Spatial distribution of the hybrid percentages in the recipient maize field.

Distance (m)	Hybrid percentage (%)										Mean (%)	S.D. (%)
	←East					West→						
	Number of ridge in the recipient maize field											
30	28	25	22	19	16	13	10	7	4			
0.3	5.2	21.3	17.1	10.0	25.7	21.1	33.9	56.5	21.5	13.7	22.6	14.4
1.2	1.0	1.7	2.4	7.0	2.5	4.6	10.3	9.4	4.6	6.7	5.0	3.3
2.1	0.4	15.5	1.0	3.2	2.3	7.2	9.0	4.4	7.8	2.8	5.4	4.6
4.2	0.9	0.8	1.7	1.1	1.3	6.3	2.4	6.4	0.7	0.2	2.2	2.3
6.3	0.4	0.0	0.2	0.7	0.4	0.4	0.8	1.0	1.0	0.4	0.5	0.3
8.4	1.2	0.0	0.2	0.2	0.2	0.0	1.0	0.9	1.4	0.0	0.5	0.6
10.5	0.2	0.2	0.2	0.0	0.9	0.0	0.4	0.0	0.2	0.6	0.3	0.3
12.6	0.0	0.2	0.5	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3
14.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1
16.8	0.2	0.0	0.2	0.6	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2
18.9	0.4	0.4	0.2	0.2	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2
21.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23.1	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.1	0.3
25.2	0.2	0.2	0.0	0.2	0.2	0.2	0.0	0.2	0.0	0.2	0.1	0.1
27.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.4	0.1	0.2
29.4	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
31.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.1
33.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1
35.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
37.8	0.0	0.3	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.1	0.1
39.9	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
42.0	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
44.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	0.2	0.6
46.2	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
48.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.1	0.1
50.1	0.2	0.5	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.2

### 3. 交雑率

Table 1 に交雑率の測定結果を示す。

#### 1) ドナー群落に最も近い場所の交雑率

ドナー群落からの距離が 0.3m における交雑率は、10 個所のサンプルのうち 6 個所で 20% 以上となり、畝 10 では、全サンプルの中で最高交雑率 56.5% が得られた。最も東側の畝 30 は、東よりの風でドナーの花粉を受けにくいためか、5% 程度の交雑率となった。残る 3 個所では、約 10~20% の値を示し、レシピエント群落全体の中で、きわだって高い交雑率を示した。10 サンプルの平均値は 22.6% となり、ドナーに近接した場所における交雑率の高さを実証した。

#### 2) ドナー群落からの距離が 1.2m と 2.1m での交雑率

ドナーからの距離が 1.2m でのサンプルは、東寄りの 2 サンプルを除いた 8 サンプルで、2~10% の値を示し、西寄りの場所で高くなる傾向が見られた。こ

の距離における最高値は、畝 13 における 10.3% である。10 サンプルの平均値は 5.0% で、ドナー群落からの距離が 0.3m における値に比べて大きく減少した。ドナーからの距離が 2.1m でのサンプルは、1 ヶ所で 15.5% という突出した値を示し、最も東寄りのサンプルで特に低い値を示したが、他の 8 ヶ所では 1~9% の交雑率を示した。この距離における 10 サンプルの平均値は、5.4% となり、ドナーからの距離が 1.2m での値よりも高くなった。これは距離 2.1m における値の中に、15.5% のサンプルが含まれるためである。

#### 3) ドナー群落からの距離が 4.2m から 10.5m での交雑率

ドナーからの距離が 4.2m における交雑率は、10 サンプルのうち、東寄りの 2 サンプルと西寄りの 2 サンプルが 1% 未満で、残り 6 サンプルは 1 から 7% の間の交雑率を示した。他の距離における傾向と同じく、



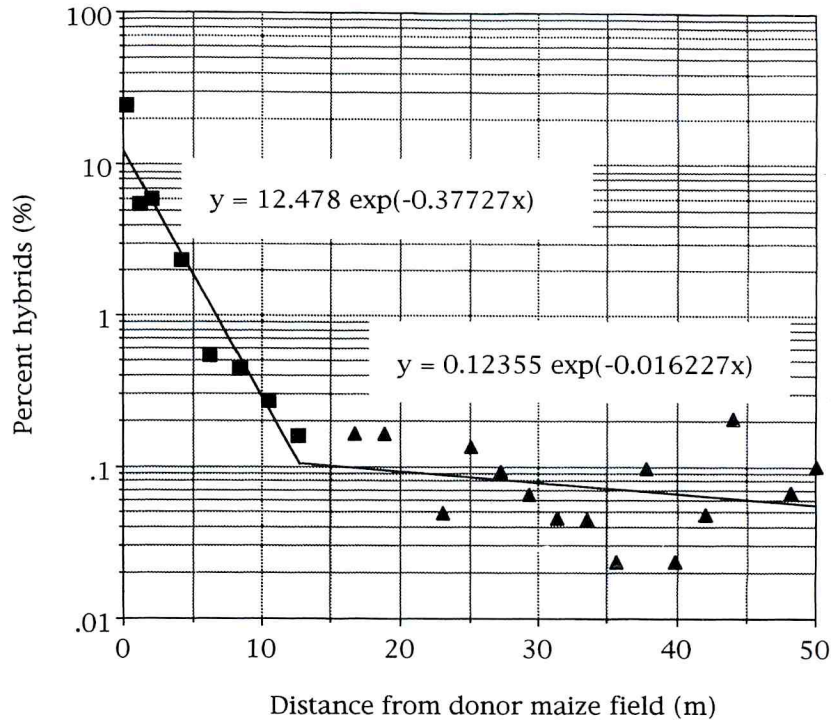


Fig. 8. Relationship between percentage of wind-pollinated maize hybrids and distance from donor pollen source.

西寄りのサンプルに高めの値が見られ、最大値は6.4%であった。この距離における10サンプルの平均値は、2.2%となった。距離が6.3mにおける交雑率は、東から2カ所目の0%以外は0.2から1.0%を示した。10サンプルの平均値は0.5%となり、この距離で1%以下となった。距離が8.4mにおける交雑率は、10サンプルのうち3カ所で0%となり、残る7カ所で0.2から1.4%を示した。10サンプルの平均値は0.5%で、距離6.3mでの平均値と同じになった。距離が10.5mにおける交雑率は、10サンプルのうち3カ所で0%となり、残る7カ所で0.2から0.9%を示した。10サンプルの平均値は0.3%となった。

#### 4) ドナー群落からの距離が12.6m以遠での交雑率

距離が12.6m以遠で交雑率が0.5%以上を示したサンプルが得られた距離は、12.6mで2カ所、16.8m、23.1m、27.3m、44.1m、50.1mで各1カ所であった。特に距離44.1mで1.9%という周囲の値から見て高い交雑率のサンプルが得られた。しかしながら、距離12.6m以遠では、距離の増加に伴う交雑率の減少は見られなかった。

#### 5) ドナー群落からの距離に伴う平均交雑率の変化

以上の結果を整理するために、距離別に交雑率の平均値を求めた。最も東寄りの畝で得た交雑率が、他の畝で得た値と比べて低い傾向を示したのは、東端の畝

は東寄りの風でドナーの花粉がかかりにくかったためと考えられる。そこで、東端の畝におけるサンプルを除いて、ドナー群落からの距離に対する平均交雑率を求めた結果をFig. 8に示す。この図から、交雑率はドナー群落からの距離に従って指数関数的に減少すること、この減衰率はドナー群落からの距離が15m位までと、より遠方では急に変化することなどがわかる。

## 考 察

キセニア現象を利用してトウモロコシの交雑率を自然条件下で測定した。同時に測定した花粉飛散数や気象条件等を観測し、ドナー群落からの距離別に交雑率を調べた。2001年の夏は不順な天候となったため、トウモロコシ花粉の飛散に好適な状況とはいえなかったが、交雑については様々な条件下で調べる必要があるため、今回の測定結果も観測された気象条件における事実としての意味がある。

#### 1. 気象条件が花粉飛散と交雑に与える影響

開花期間中に気温の変化が大きい年は、前日との気温差が正で大きい日、すなわち前日と比べて気温が大きく上昇した日に花粉飛散数が大きくなることが明らかになっている<sup>(1)</sup>。これは、植物の開花量が気温の

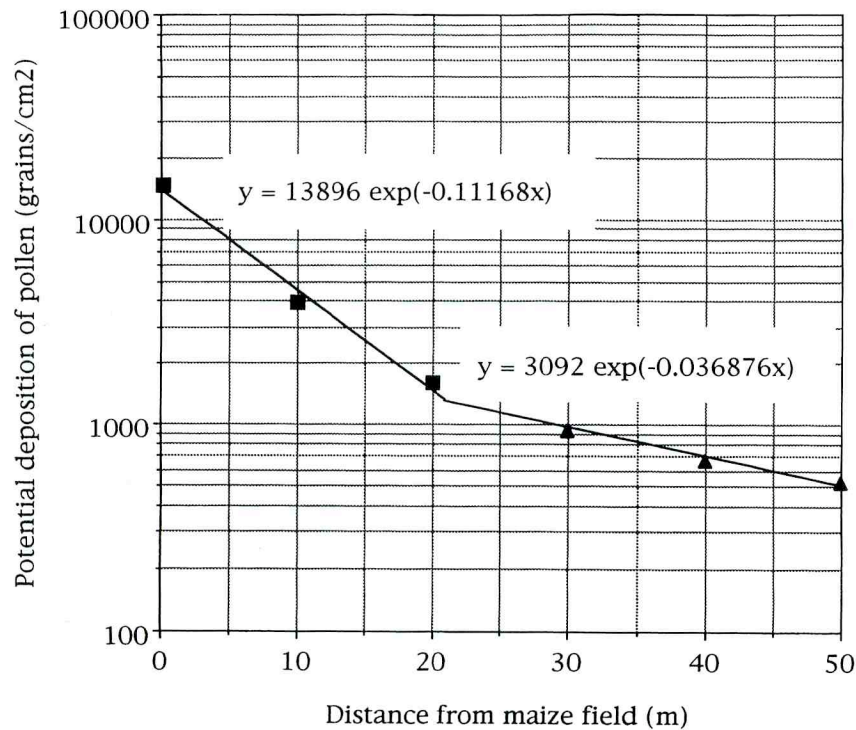


Fig. 9. Change in the number of the integrated potential deposition of pollen grains with the distance from the corn field.

変化に影響されるためと考えられている。本実験群落の開花期間と気温変化を組み合わせると、8月3日、4日、9日、10日に花粉飛散が大きくなる可能性がある。8月9日、10日は飛散終了期であったため、飛散数のピークは現れなかったと考えられる。

日平均風向の変化とトウモロコシ群落の開花期間とを組み合わせると、ドナー・レシピエント群落の配置に適した南よりの風が吹いたのは8月3日であるため、花粉飛散による交雑が起きたのは8月3日が多かったと推定される。8月4日は東よりの風であったため、ドナー群落の花粉がレシピエント群落の中に広く拡散するには適さなかった。8月5日は南東の風であり、日平均風速もやや強かったため、ドナー群落の花粉はレシピエント群落内に広く拡散し、広範囲で交雑を起し得たと考えられる。

風向、気温、風速の経時変化を組み合わせると、8月3日の11時から20時の時間帯と、8月5日の14時前後の時間帯において、ドナー群落のトウモロコシ花粉がレシピエント群落の中に広く拡散したと推定され、ドナーから比較的遠い場所のトウモロコシにも交雑が発生しやすい気象状況であったと考えられる。一方、ドナー群落から比較的近い場所のトウモロコシでは、風向が東よりになった8月3日の午前中や、8月4日、8月5日の午前中などにも交雑は生じ得た

と考えられる。

## 2. ドナー群落からの距離と交雑率の関係

Table 1 に示すように、個々のサンプルの交雑率は、かなり大きなばらつきを持っているが、ドナー群落からの距離に伴う平均交雑率の変化は、特徴のある傾向を示した。Fig. 8 から、ドナー群落からの距離が15m位までの減衰率は大きく、距離によってほとんど説明できること、ドナー群落からの距離が15m位より遠方の減衰率は小さく、距離によってあまり説明できないランダムな変動を示すことなどがわかる。

ドナー群落から放出された花粉が、レシピエントの雌穂に受粉することによって交雑が生じると考えられる。そこで、ある地点での交雑率は、その地点に落下したドナー花粉とレシピエント花粉の合計数に占めるドナー花粉数の割合で決まると考えられる。ドナー花粉とレシピエント花粉の合計数は、ドナー群落とレシピエント群落がほぼ同時に開花していること、花粉数の実測値についても場所による違いやドナー群落からの距離による系統的な増減も認められないことなどから、レシピエント群落内ではほぼ均一であったと仮定できる。そこで、レシピエント群落内のある地点における交雑率は、そこに落下したドナー花粉の数によって、最も影響を受けると考えられる。



我々は1999年に、今回の実験圃場の近くで花粉飛散数と落下数の観測を行った<sup>(12)</sup>。その結果、花粉落下数は放出源となる畑からの距離に従って指数関数的に減少すること等がわかった。今回新たに、1999年の観測結果をもとに、トウモロコシ畑からの距離と花粉総落下数の関係を縦軸を対数軸としてFig. 9に示す。この図から、減衰率は畑からの距離が20m前後までと、より遠方では変化すること、畑からの距離が20m前後までの減衰率は大きく、より遠方の減衰率は小さくなることなどがわかる。

1999年における花粉落下数の観測条件と、本報告で示した交雑率の観測条件では、年次による違いがあり、また、圃場の規模も異なるので、そのまま対応させるのは適当ではないが、Fig. 9はレシピエント群落内でのドナー花粉落下数の変化を表していると考えられる。また、両者に現れている距離に伴う減衰率の変化は、共通の現象といえる。すなわち、

(1) トウモロコシ群落から放出された花粉は、距離に対して単純な指数関数的な減衰をするのではなく、放出源から近距離において大きな減衰率を示し、より遠距離では小さな減衰率を示す。

(2) その理由は、まだ明らかではないが、生物粒子のもつ特性に起因する可能性がある。

(3) ドナー群落からの距離に伴う交雑率の減衰が、ある距離から変化したのも、このような花粉の飛散特性や、それに基づく落下数の分布状態に起因する可能性があると考えられる。

(4) 交雑率 (Fig. 8) の折れ曲がり距離が、花粉落下数 (Fig. 9) の折れ曲がり距離より短いのは、交雑率観測年 (2001年) の気象条件が花粉の飛散に好適でなかったことを反映したものと考えられる。

今後は、圃場の規模をより大きくし、交雑率の測定範囲をさらに遠距離にまで広げて、ドナー群落からの距離と交雑率の関係を調査し、気象条件などの影響を検討しながら考察する予定である。

## 要 約

遺伝子組み換え体作物が生態系に与える環境影響を評価する研究に関連して、遺伝子組み換え体作物から近縁種への遺伝子のフローが問題となっている。これは、とりわけ風媒花であるトウモロコシの場合には深刻な問題である。本研究では、トウモロコシ種子の持つキセニア現象を利用して、交雑率の空間分布を調査した。同時に気象条件も観測した。得られた交雑率は気象条件の変動を考慮しながら検討した。さらに、ドナーとなるトウモロコシ群落からの距離と、交雑率の間の関係について検討した。その結果、交雑率はドナー群落からの距離に従って指数関数的に減少することが

明らかになった。さらに、距離に伴う交雑率の減少率は一定ではなく、ドナー群落に近い場所では大きく、ドナー群落から遠い場所では小さいことがわかった。花粉放出源からの距離に伴う花粉落下数の減少は、交雑率の場合と同様なパターンを示す。ドナー群落からの距離に伴う交雑率の変化は、このような花粉落下数の空間分布に起因すると考えられる。

## 謝 辞

本研究を進めるに当たり、農業環境技術研究所の塩見敏樹博士には研究のとりまとめ等において大変にお世話になった。また、同研究所大気生態研究室の歌川育子女史には、研究の支えとなる多くの仕事でお世話になった。この場をかりて、各位に対し、厚くお礼を申し上げたい。

## 引用文献

- (1) Kaufman, S. R., P. E. Smouse and E. R. Alvarez-Buylla : Pollen-mediated gene flow and differential male reproductive success in a tropical pioneer tree, *Cecropia obtusifolia* Bertol. (Moraceae) : a paternity analysis. *Heredity* **81**, 164-173 (1998).
- (2) Vezvaei, A. and J. F. Jackson : Gene flow by pollen in an almond orchard as determined by isozyme analysis of individual kernels and honey bee pollen loads. *Acta horticulturae* **437**, 75-81 (1997).
- (3) Viard F., Y. A. El-Kassaby and K. Ritland : Diversity and genetic structure in populations of *Pseudotsuga menziesii* (Pinaceae) at chloroplast microsatellite loci. *Genome* **44**, 336-344 (2001).
- (4) Sork V. L., J. Nason, D. R. Campbell and J. F. Fernandez : Landscape approaches to historical and contemporary gene flow in plants. *Trends in Ecology and Evolution* **14**, 219-224 (1999).
- (5) Wang, T. Y., H. B. Chen and H. Darmency : Pollen-mediated gene flow in an autogamous crop : Foxtail millet (*Setaria italica*). *Plant breeding* **116**, 579-583 (1997).
- (6) Rognli, O. A., N. -O. Nilsson and M. Nurminiemäki : Effects of distance and pollen competition on gene flow in the wind-pollinated grass *Festuca pratensis* Huds. *Heredity* **85**, 550-560 (2000).



- (7) Kwon Y. W., D. S. Kim and K. -O. Yim :  
Herbicide-resistant genetically modified crop :  
assessment and management of gene flow.  
*Weed Biology and Management* **1**, 96-107  
(2001).
- (8) Lavigne, E. K. Klein and D. Couvet : Using  
seed purity data to estimate an average  
pollen mediated gene flow from crops to wild  
relatives. *Theoretical and Applied Genetics*  
**104**, 139-145 (2002).
- (9) Richards, C. M., S. Church and D. E.  
McCauley : The Influence of Population Size  
and Isolation on Gene Flow by Pollen in  
*Silene alba*. *Evolution* **53**, 63-73 (1999).
- (10) Louette, D., A. Charrier and J. Berthand : In  
situ conservation of maize in Mexico : Genetic  
diversity and maize seed management in a  
traditional community. *Economic Botany*  
**51**, 20-38 (1997).
- (11) Kawashima, S. and Y. Takahashi : Modelling  
and simulation of mesoscale dispersion processes  
for airborne cedar pollen. *Grana* **34**, 142-  
150(1995).
- (12) 川島茂人, 松尾和人, 杜 明遠, 高橋裕一, 米  
村正一郎, 井上 聡, 酒井英光 : 環境影響評価  
のためのトウモロコシ花粉落下総数の予測手法,  
日本花粉学会会誌 **46**, 103-114 (2000).
-