

# 交雑に関する新たな 科学的知見とその考察

平成20年4月18日

農林水産省農林水産技術会議事務局  
技術安全課

# 内容

1. 長距離交雑事例とその要因の考察
  - 1) イネ
  - 2) ダイズ
  - 3) トウモロコシ
2. 交雑予測モデル

# 1. 長距離交雑事例とその要因の 考察

- 1) イネ
- 2) ダイズ
- 3) トウモロコシ

# 1) イネ

イネにおける指針に定める隔離距離以上で交雑が確認された実験

交雑距離(m)	交雑率(%)	試験ほ場	試験機関	年度
300	0.024	北海道岩見沢市一般ほ場内	道立農試	18
600	0.028	北海道岩見沢市一般ほ場内	道立農試	19
40	0.002	茨城県つくばみらい市一般ほ場内	農環研	19
※参考:これまでの最長距離				
25.5	0.01	東北農研(大仙)	東北農研	16
指針に定める隔離すべき距離 30m				

- ・H19は技術会議事務局・農環研で北海道庁・北海道農業試験場と協力し、なぜこのような長距離交雑が起こり得たのかを検証。
- ・当方委託プロ研『遺伝子組換え生物の産業利用における安全性確保総合研究』において、原因究明のための研究を実施。

# 北海道立農業試験場が岩見沢市で行った実験の概要(H19)

- 花粉源:

- 一般農家ほ場で生産されたうるち品種(ななつぼし等)

- 種子親:

- 試験場内で調整されたもち品種(はくちょうもち)

- 温度条件(平成19年は岩見沢は冷害)

- ・試験区:冷水田による低温処理

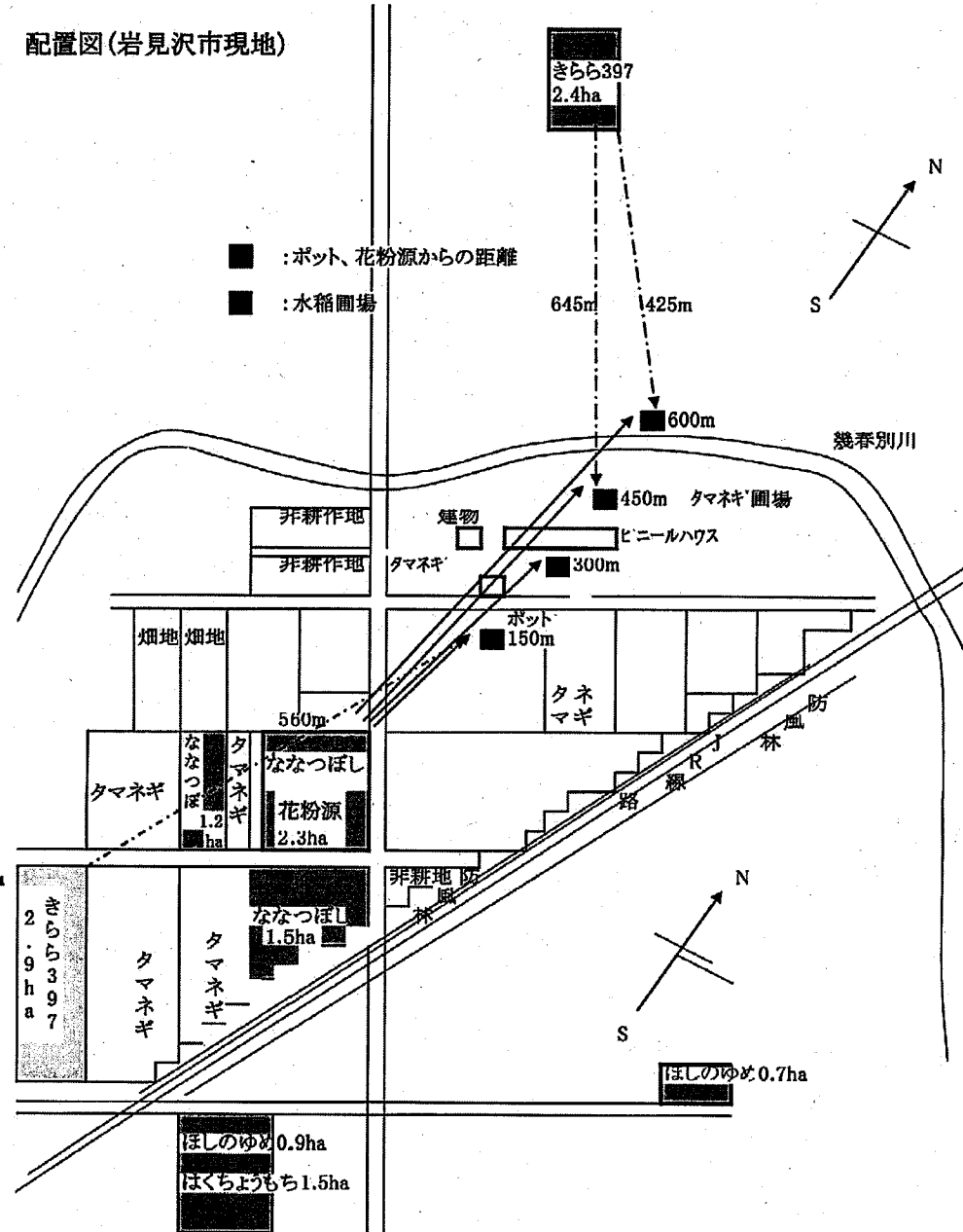
- ・対照区:無処理

- 不稔歩合

- ・試験区:37.3~47.5%

- ・対照区:24.0~27.0%

配置図(岩見沢市現地)



### 試験地の特徴

強風・低温  
(H19不稔歩合25%程度)

もともと水田が多かったが、  
タマネギ、ダイズ等への転作が進む

# 岩見沢アメダスによる開花前・開花中の気象経過(H19)

月日	平均気温	最高気温	最低気温	平均風速	最大風速	風向	最大瞬間風速	風向
7月20日	19.5	21.4	15.8	4.8	8.9	南南東	15.5	南
7月21日	20	21.6	18.5	1.8	4.2	南	7.4	南
7月22日	21.4	27.4	18.4	2	3.9	南西	7.3	南南西
7月23日	21.3	29	16.2	1.9	6	南西	11.2	北西
7月24日	21.3	28.4	14.2	2.5	6.5	北西	12.3	北西
7月25日	22.1	29.7	14.3	2.5	6.1	南	10.4	南南東
7月26日	21.1	26	17.7	2.1	5.2	北西	8.8	北西
7月27日	22.5	28.4	16.2	4	7.8	南	13.1	南南東
7月28日	19.8	23.4	14.8	4.3	7.1	北北東	12.8	南
7月29日	17.7	23.5	12.7	4.1	8.2	北北東	12.8	北北東
7月30日	18.2	23.5	15.7	4.4	7.8	南	14.9	南
7月31日	17.9	23.7	14.5	5	8.6	南	16.9	南
8月1日	21.4	25.5	16.1	6.3	9.5	南	16.9	南南東
8月2日	23.8	29.3	18.7	5.9	11.3	南南東	20.3	南
8月3日	21.4	24.7	18.7	1.6	3.6	南南東	5.7	南南東
8月4日	21.3	23.4	19.7	2.2	4.3	北北東	6.5	北北東
8月5日	21.7	24.8	19.1	1.8	3.2	西南西	6.1	西
8月6日	22.6	26.1	19.8	1.7	4.6	南	6.9	南南東
8月7日	23.8	28.3	21.5	3.4	7.4	南	11.7	南
8月8日	24	29.8	20.8	3.4	7.1	南南東	12.5	南南東
8月9日	24.2	28.2	21.6	5.6	9.9	南南東	16.1	南
8月10日	23.9	26.8	21.8	4.9	5.7	南南東	10.2	南東

イネ開花期  
6

# 北海道立農業試験場の イネの交雑試験の実施現場(H19)







試験区(低温処理区)における生育状況  
(不稔率37.3~47.5%)(H19)



対照区(無処理区)における生育状況  
(不稔歩合:24.0~27.0%)(H19)

低温により  
稔実率が低下したイネは  
交雑率が高まるのか？

# 北農研におけるほ場試験



## 開花前の低温処理が交雑率に与える影響

花粉源からの距離	播種日	区	全粒数	交雑粒数	交雑率(%)
1m	6月26日	対照区	9,369	2	0.02
		低温処理区	7,140	396	5.55
5m	7月3日	対照区	8,853	0	0.00
		低温処理区	7,274	215	2.96

試験区:小孢子期に12°Cで4日間(ファイトロンによる処理(気温))

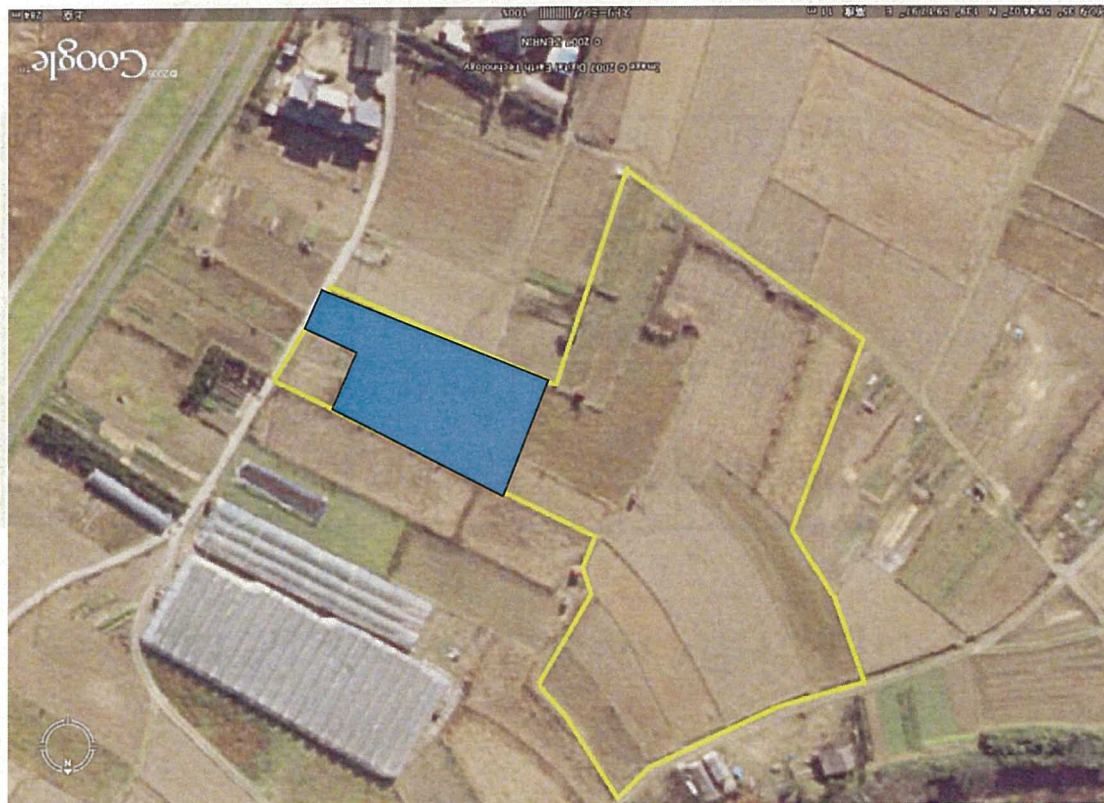
対照区:19~25°C(気温)

**低温により稔実率が低下したイネの交雑率は大幅に高まる**

# 北海道立農試による イネの長距離交雑の要因

- 開花期前に冷水処理を行ったこと及び冷水処理を行わなくても著しい低温に遭遇したこと等により雄性不稔が生じたことが主因と考察
- 大規模な花粉源に加え強い卓越風が副因と考察

# 農環研によるつくばみらい市における イネ大規模交雑実験



- 茨城県つくばみらい市
- 芥子色の部分が花粉親区(左側)

- 花粉親  
おくのむらさき:約20a
- 種子親  
ヒメノモチ:約100a

EUにおいて検討されている  
共存施策を念頭に、  
栽培を念頭においた  
大規模な試験で交雑率の  
予測モデルのための  
データを蓄積中

## 農環研によるつくばみらい市における交雑実験結果(抜粋)

花粉親からの距離(m)	0	1	3	5	10	20	30	40
Line 1の交雑率(%)	0.0270	0.0070	0.0000		0.0010	0.0000	0.0000	
交雑種子数	4	1	0		2	0	0	
解析種子数	15,079	13,421	13,429		135,812	137,368	126,503	
Line 2の交雑率(%)	0.0000	0.0080	0.0060	0.0000	0.0010	0.0000	0.0000	0.0000
交雑種子数	0	1	1	0	1	0	0	0
解析種子数	15,255	11,955	17,607	13,321	120,833	102,273	101,314	102,197
Line 3の交雑率(%)	0.0060	0.0070	0.0000		0.0000	0.0010	0.0000	0.0020
交雑種子数	1	1	0		0	1	0	2
解析種子数	15,863	14,589	14,036		141,422	153,892	117,342	111,879



# 農環研によるつくばみらい市における イネの長距離交雑の要因

- 試料点数の増加に伴い、これまでの検出限界値(有効小数点)以下での検出によるものと考察

## 2) ダイズ

ダイズにおける指針に定める隔離距離以上で交雑が確認された事例

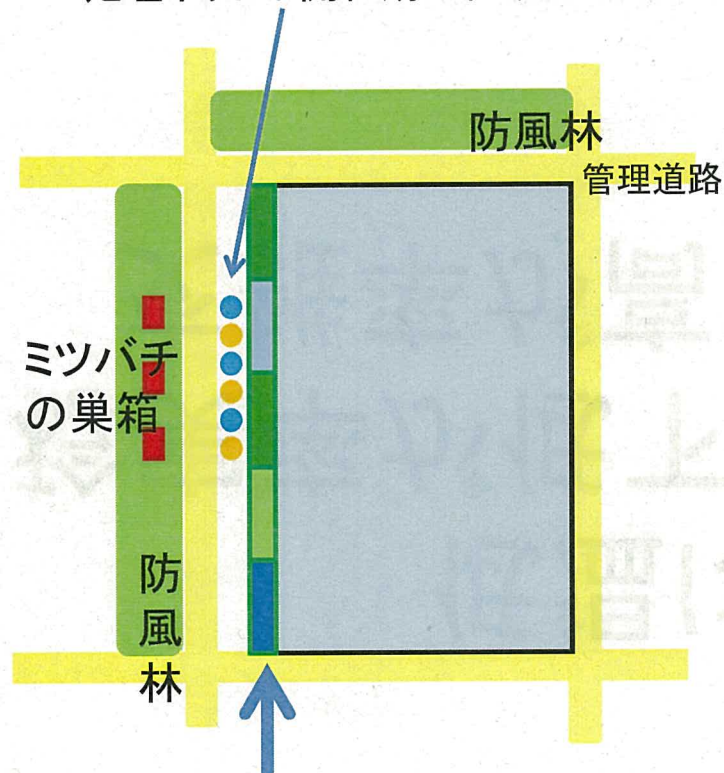
交雑距離(m)	交雑率(%)	試験ほ場	試験機関	年度
20	0.015	北海道立農試(十勝)	道立農試	18
※参考:これまでの最長距離				
7	0.049	農環研	農環研	13
指針に定める隔離すべき距離 10m				

- ・当方委託プロ研『遺伝子組換え生物の産業利用における安全性確保総合研究』において、原因究明のための研究を実施。

低温により  
稔実率が低下したダイズは  
交雑率が高まるのか？

## 花粉飛散試験基本設計(低温処理の影響確認)

処理ポットは開花期が合致した品種に隣接して設置



6月26日播種、7月3日播種に各  
処理区10ポットずつ播種



低温処理区: 開花前1週間14°C処理

対象区 : 開花前1週間25°C処理

ボーダーを5等分して端からリュウホウ、  
エンレイ、タチナガハ、サチユタカ、フクユ  
タカを播種する。

# 自然交雑率に与える低温処理の影響

試験	播種日	区	全粒数	交雑粒数	交雑率(%)
試験1	6月26日	対照区	1,910	0	0.00
		低温区	2,180	4	0.18
試験2	7月3日	対照区	2,496	0	0.00
		低温区	2,894	18	0.62
合計		対照区	4,406	0	0.00
		低温区	5,074	22	0.43

試験区: 15°C7日間(ファイトロンによる処理(気温))

対照区: 25°C7日間(ファイトロンによる処理(気温))

**低温により稔実率が低下したダイズは  
大幅に交雑率が高まる。**

# 芽室アメダスによる開花前・開花中の気象経過(H18)

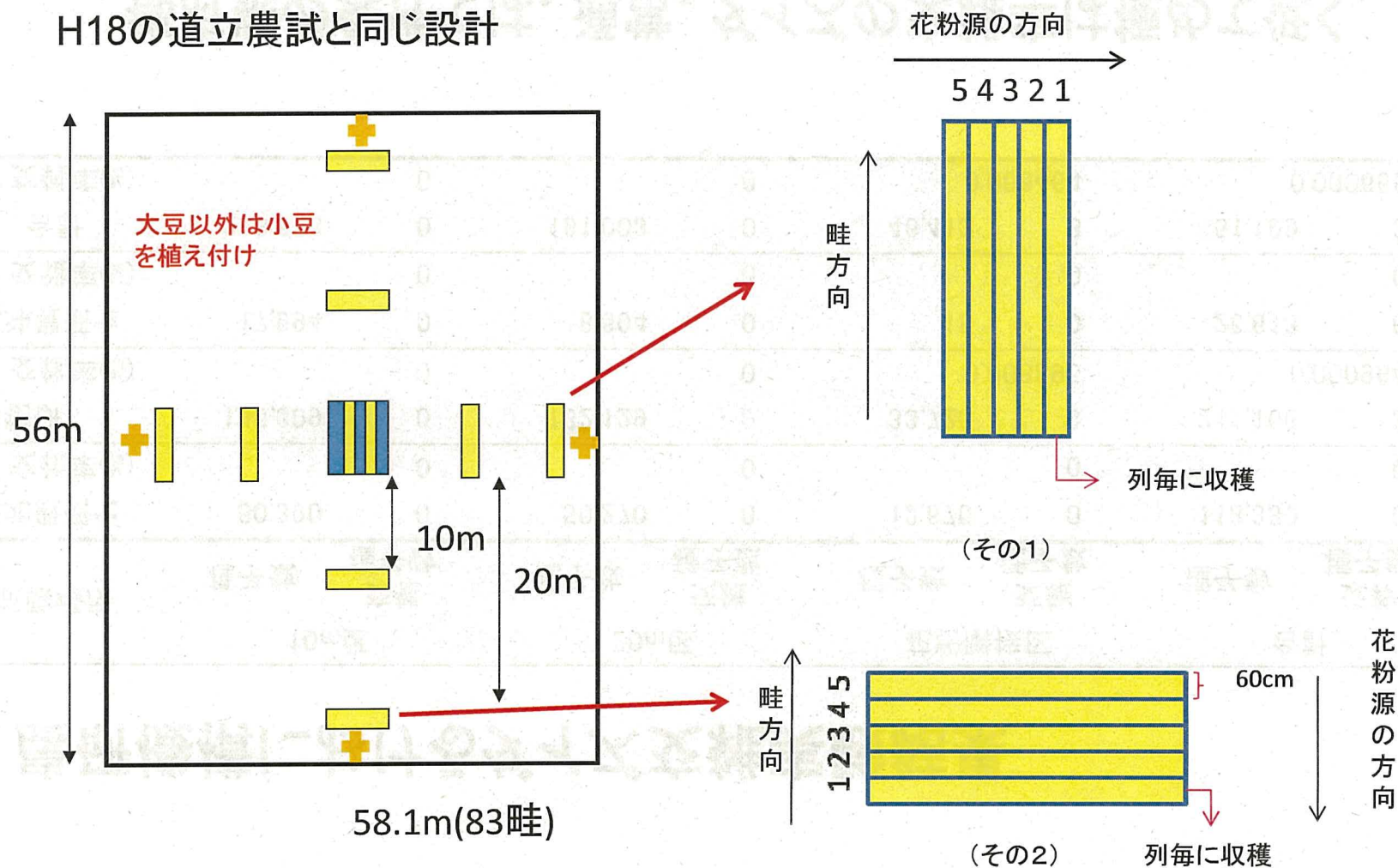
月日	平均気温	最高気温	最低気温	平均風速	最大風速	風向
7月15日	23.8	31.1	18.3	1.2	3	北
7月16日	19.4	24.8	16.6	1.4	3	南
7月17日	18.4	21.8	16.4	0.6	2	南
7月18日	18	20.8	15.3	0.9	2	南南東
7月19日	16	19.7	14.1	0.9	2	南
7月20日	15.1	18.5	13	0.9	2	南南東
7月21日	14.7	17.5	13	1	2	南南東
7月22日	14.7	17.9	12.8	1	2	南南東
7月23日	15.1	17.5	13.2	0.6	2	南南東
7月24日	15.2	17.1	13.2	0.3	1	東南東
7月25日	20.4	28.2	15.4	1	2	北北西
7月26日	21.1	28.3	12.7	1.1	2	北北西
7月27日	21.3	30.7	10.8	0.5	3	南南東
7月28日	19.6	29.2	11.5	0.8	3	南南東
7月29日	17.6	19.8	15.2	0.6	2	南東
7月30日	18.1	22.6	14.7	1	2	南南東
7月31日	15.8	18.9	11.3	0.8	2	南南東
8月1日	16	22.4	13.3	1	2	南南東
8月2日	17.8	25.2	13.6	0.7	2	南東
8月3日	23.5	32.3	15.6	0.7	3	北北西
8月4日	23.7	33.1	18.4	0.5	2	北北西
8月5日	22.5	29.5	17.6	0.7	3	南東
8月6日	24.9	33.9	16.8	0.4	2	南
8月7日	25.5	32	18.3	0.4	1	南南西
8月8日	25.9	33.4	18.6	0.7	2	南南東
8月9日	24.8	32.6	18.7	0.7	3	南東
8月10日	22.9	26.5	20.9	0.5	1	東南東

ダイズ開花期



## 花粉飛散試験基本設計(花粉飛散距離の調査)

H18の道立農試と同じ設計



✦ マレーズトラップの設置位置

作物研及び東北農研では開花期に1~3回掬い取りによる昆虫調査を実施

## 農研機構におけるダイズ交雑実験結果

試験場所	10m区		20m区		花粉隣接区		合計	
	種子数	交雑種子数	種子数	交雑種子数	種子数	交雑種子数	種子数	交雑種子数
東北農研セ	50,390	0	50,270	0	12,670	0	113,330	0
交雑率(%)		0		0		0		0
作物研	145,309	0	132,129	0	33,728	3	311,166	3
交雑率(%)		0		0		0.008895		0.000964
九沖農研セ	17,994	0	8,604	0	15	0	26,613	0
交雑率(%)		0		0		0		0
合計	213,693	0	191,003	0	46,413	3	451,109	3
交雑率(%)		0		0		0.006464		0.000665

都府県の条件では、通常、ダイズの交雑率は極めて低く、  
指針に定める隔離距離を超える交雑は検出されなかった<sup>23</sup>



# 北海道立農試による ダイズの長距離交雑の要因

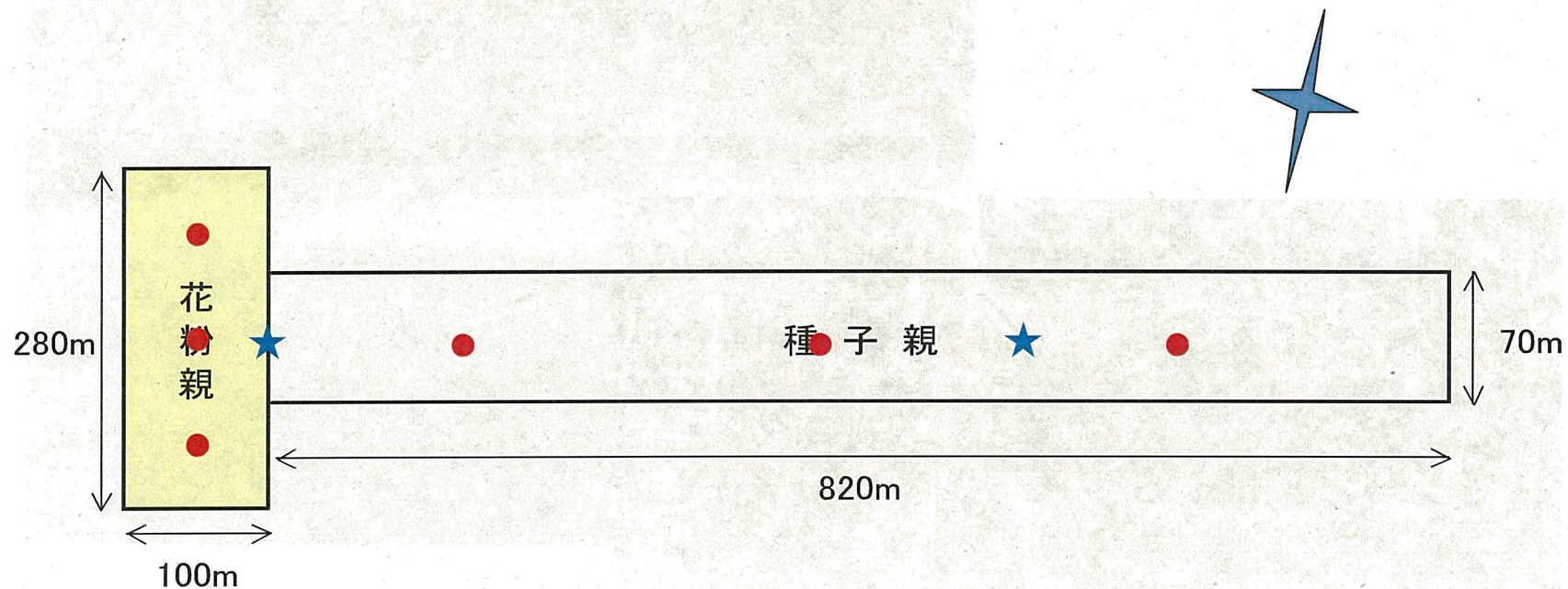
- 開花前の低温による雄性不稔化が要因と考察

### 3) トウモロコシ

トウモロコシにおける指針に定める隔離距離以上で交雑が確認された事例

交雑距離(m)	交雑率(%)	試験ほ場	試験機関	年度
750~800	0.007	家畜改良センター新冠牧場	北農研	18
750~800	0.009	家畜改良センター新冠牧場	北農研	19
1200	0.0002	北海道立花・野菜技術センター	道立農試	19
※参考:これまでの最長距離				
400	0.03~0.2	種苗管理センター他	同左	16
海外では800mを超える交雑事例の報告あり				
指針に定める隔離すべき距離 600mまたは防風林がある場合は300m				

# ほ場の配置(家畜改良センター新冠牧場)



●: 花粉捕集器

★: 気象観測装置

# 開花揃い期の種子親の状況(新冠牧場) 8月14日



# 種子親の交雑状況

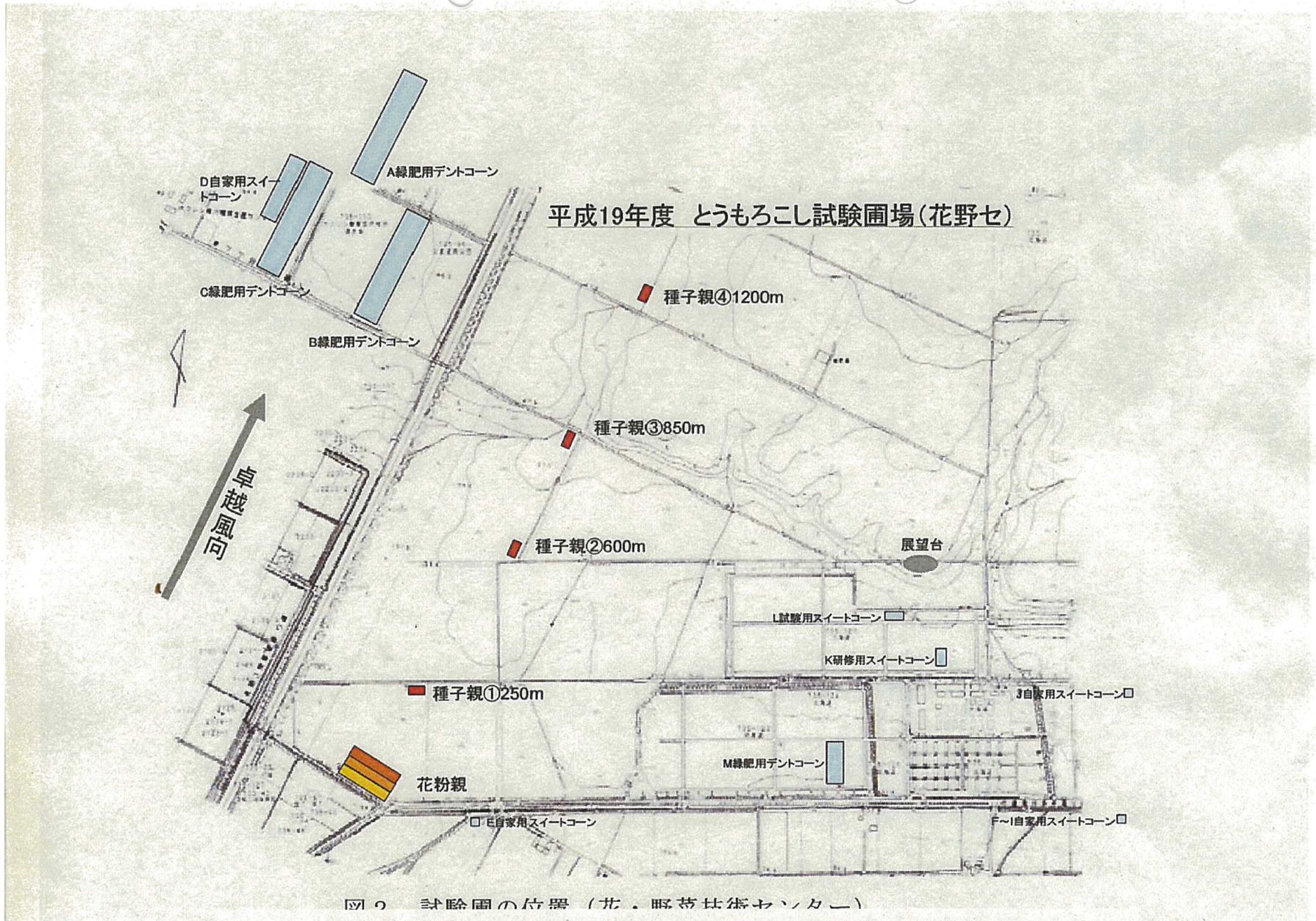


# 花粉親からの距離と交雑発生率 (%) (家畜改良センター新冠牧場)

年次	花粉親からの距離 (m)																
	~50	~100	~150	~200	~250	~300	~350	~400	~450	~500	~550	~600	~650	~700	~750	~800	~810
2006	6.850	0.087	0.043	0.023	0.016	0.020	0.009	0.027	0.021	0.002	0.000	0.031	0.012	0.006	0.016	0.007	0.000
2007	2.574	0.848	0.338	0.233	0.153	0.047	0.017	0.024	0.034	0.017	0.031	0.007	0.021	0.005	0.000	0.009	—

4 / 45,286

家畜改良センター新冠牧場



北海道立花・野菜技術センター(滝川市)



31



## 北海道立農試によるトウモロコシ交雑試験結果

<u>花粉源から の距離(m)</u>	<u>調査粒数</u>	<u>交雑粒数</u>	<u>交雑率(%)</u>
-------------------------	-------------	-------------	---------------

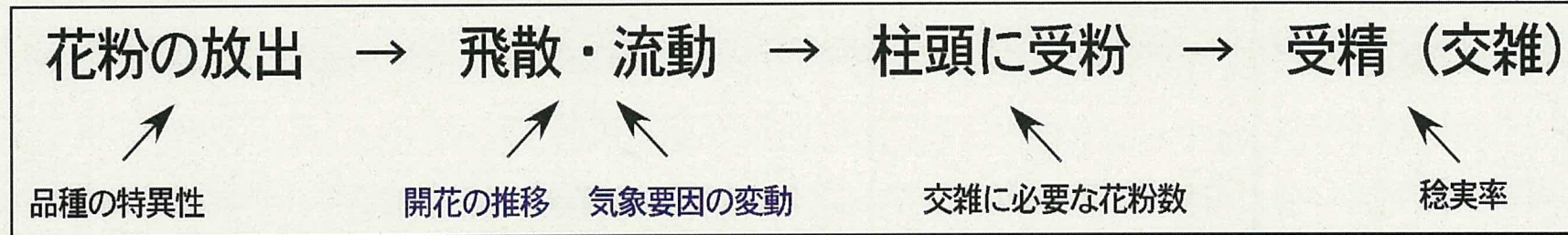
250	363,604	123	0.0338
600	451,588	0	0
850	332,100	0	0
1,200	448,998	1	0.0002

## トウモロコシの長距離交雑の要因

- いずれも大規模な試験で、試料点数の増加に伴い、これまでの検出限界値以下で検出されたものと考察。

## 2. 交雑予測モデル

# イネにおける交雑予測モデル



## 主なパラメータ

### 1. 日時

シミュレーション期間(月/日)

### 2. 気象データ

- 1) 気温 Air Temp
- 2) 相対湿度 R.H.
- 3) 風速 Wind Speed
- 4) 風向 Wind Dir
- 5) 降水量 Rain

### 3. 生物データ

- 1) ドナー開花数
- 2) レシピエント開花数

ブルーム式 (基本式)

$$C(x,y,z) = \frac{Q_s}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left\{ \exp\left[-\frac{(z-He)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+He)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\}$$

ブルーム式 (長期平均式)

$$C(R,z) = \sqrt{\frac{1}{2\pi}} \frac{Q_s}{R\sigma_z U} \left\{ \exp\left[-\frac{(z-He)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+He)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\}$$

( $-\pi/16 \leq \arctan(y/z) < \pi/16$  の場合)  
(その他の場合)

$$C(R,z) = 0$$

$C(R,z)$ : 計算点(R,z)の濃度 (ppm)

R : 点煙源と計算点の水平距離 (m) ( $R = \sqrt{x^2 + y^2}$ )

x, y : 計算点のx, y座標 (m)

z : 計算点のz座標 (m)

$Q_s$  : 点煙源強度 ( $m^3 N/s$ )

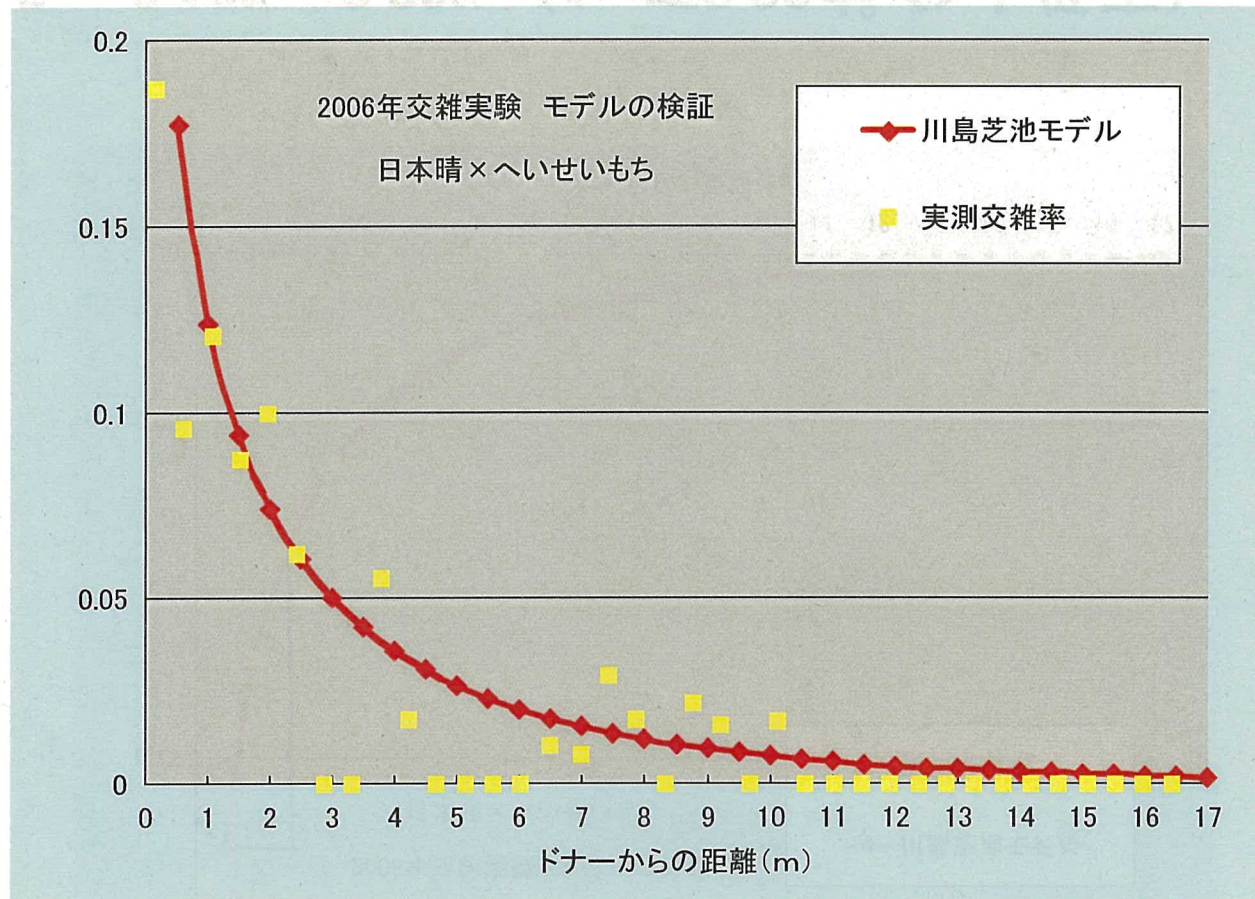
u : 風速 (m/s)

He : 有効煙突高 (m)

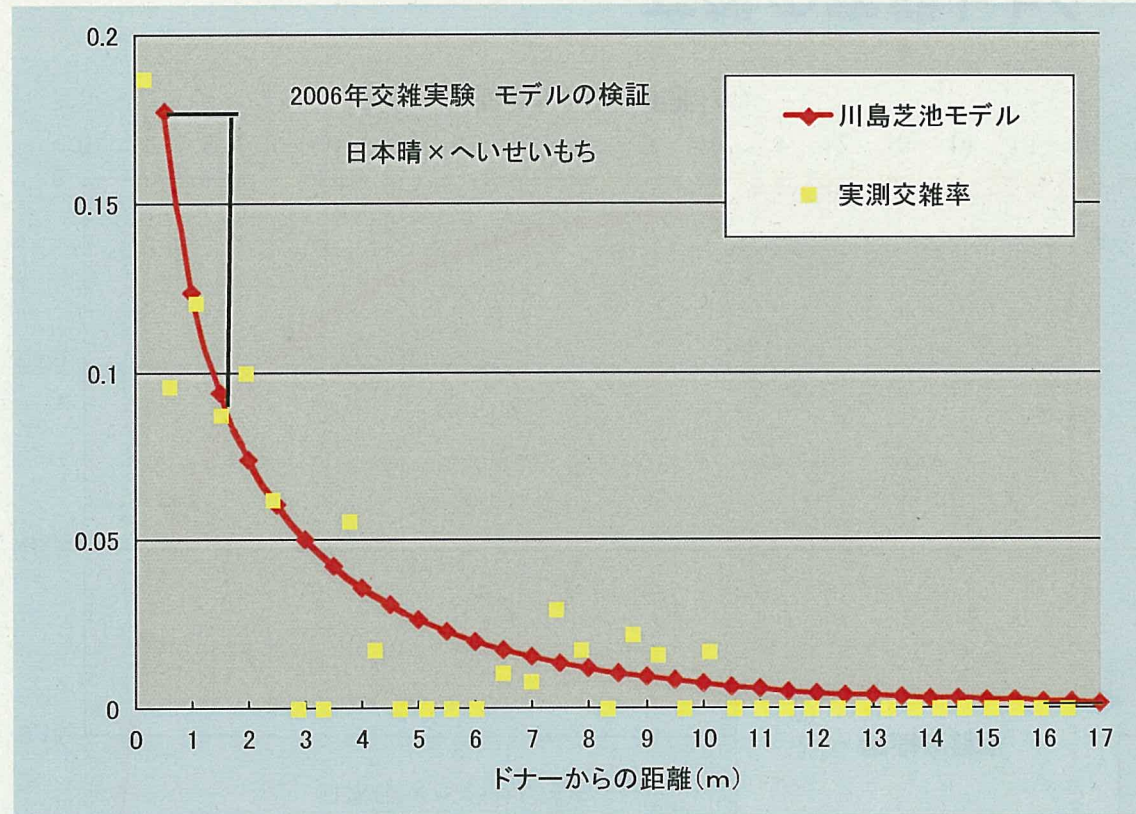
$\sigma_y$  : 水平 (y) 方向の拡散パラメータ (m)

$\sigma_z$  : 鉛直 (z) 方向の拡散パラメータ (m)

# イネにおける交雑予測モデル



交雑の実態とよく一致する 36



0.5m→1.5m:0.18%→0.09% (1mで0.09ポイント低下)

16m→17m:0.00206%→ 0.00172% (1mで0.00034ポイント低下)

# イネの交雑予測モデルからの考察

- 距離が延びるに従い、単位距離あたりの交雑率低減効果は小さくなる
- 隔離距離を延ばせば交雑割合は低下していくが、モデル上で交雑率を完全ゼロにするためには無限大の距離が必要

# まとめ

- 指針に定める隔離距離を超える距離での交雑の要因は以下の三点に集約と考察
  - 1)開花前の低温による雄性不稔化(イネ・ダイズ)
  - 2)強い卓越風(イネ)
  - 3)大規模な試験
- 交雑予測モデルより
  - 1)距離が延びるに従い、単位距離あたりの交雑率低減効果は小さくなる
  - 2)隔離距離を延ばせば交雑割合は低下していくが、モデル上で交雑率を完全ゼロにするためには無限大の距離が必要



# ご協力いただいた方々

- 『遺伝子組換え生物の産業利用における安全性確保総合研究』参画の関係者
- 北海道庁・北海道立農業試験場関係者、北海道大学松井博和教授
- ご相談させていただいた学識経験者  
作物研黒田所長、北大喜多村教授、東北大西尾教授、千葉大原田教授、京大谷坂教授、九大吉村教授、九大安井助教授

(所属はご相談させていただいた時点の所属で記載)