

2013年2月19日

環境省:平成24年度農薬の大気経路による影響評価事業

## 農薬の大気経路による影響評価事業 無人ヘリコプター散布での農薬飛散ばく露評価 — シミュレーションモデルを利用して —

コバラ ユウソウ

小原 裕三

独立行政法人農業環境技術研究所  
有機化学物質研究領域



### 無人ヘリコプター散布での農薬飛散ばく露評価

#### 目的:

無人ヘリコプターによる農薬のばく露経路:

吸入及び経皮によるばく露について評価を行う。

- ・実測による評価には、多大な労力と経費が必要
- ・立地条件、気象条件や農薬の種類によって、大きく異なる結果
- ・事例を積み重ねて一般化するには、膨大な試験規模と試験数が必要  
現実的には困難

そのため、変動要因を明らかにし、  
それに基づく農薬の飛散動態を予測するシミュレーションモデルを利用し、  
リスク評価の一般化を図る。



## 無人ヘリコプター散布での農薬飛散ばく露評価

どのように暴露評価を行うか:シミュレーションにより暴露濃度評価

→大気中濃度評価

粒子状とガス状の農薬を分けて評価

→各々の結果を組み合わせる総合的に評価

- ・散布中・直後の短時間の粒子状物質(スプレードリフト)、
- ・農薬粒子落下後の長時間のガス状物質(ベーパードリフト)による飛散動態に分けて評価を行う。

可能な限り既存のモデルを利用して評価

スプレードリフトについては、

- ・DRIFTSIM (The Ohio State University)
- ・AgDRIFT/AgDISP (SPRAY DRIFT TASK FORCE)

ベーパードリフトについては、

- ・CALPUFF (the Atmospheric Studies Group at TRC Solutions)



## 無人ヘリコプター散布飛行の方法(抜粋)

空中散布等は、気流の安定した時間帯に、かつ、地上1.5mにおける風速が3m/s以下の場合に実施すること。なお、当該風速を超える場合に空中散布等を行わないことを徹底するとともに、超えない場合であっても風向きを考慮した散布を行うよう努めること。

散布飛行高度、速度:

I種無人ヘリの場合:地上もしくは作物上3~4m、10~20km/h (RMAX、AYH-3、YH300)

「産業用無人ヘリコプターによる病害虫防除実施者のための手引き【平成22年版】」より



## 無人ヘリコプターによる農薬散布条件

### 液剤散布装置

- ・噴霧ノズル: TXYS-8
- ・噴霧ノズル設置位置、設置角度は固定
- ・噴霧圧力: 0.44MPa
- ・薬剤吐出速度: 一定
- \* 厳密に管理

散布量: 対象作物が水稻の場合には、0.8L/10a

以上より、他の農薬地上散布方法よりも、  
農薬飛散動態への人為的、装置的な変動要因は、  
比較的小さいことが容易に推測できる。



## 粒径分布測定結果 (2010年度生研センター)

有効成分名	剤型	D50	VMD	R100
		μm	μm	%
水	—	114	114	36
1 カスガマイシン	液剤	110	110	40
2 バリダマイシン	液剤	112	112	38
3 トリシクラゾール	水和剤	115	115	33
4 フルトラニル	水和剤	113	113	37
5 ペンシクロン	水和剤	115	116	34
6 フェノキサニル	マイクロカプセル剤	113	113	36
7 チオファネートメチル	水和剤	105	105	45
8 メプロニル	水和剤	104	105	46
9 フサライド	水和剤	114	115	36
10 アゾキシストロピン	水和剤	115	116	34
11 ジクロシメット	水和剤	116	116	33
12 ジノテフラン	液剤	113	113	36
13 ジノテフラン	液剤	115	116	35
14 エトフェンブロックス	マイクロカプセル剤	117	118	33
15 クロチアニジン	水和剤	114	115	35
16 シラフルオフエン	乳剤	112	113	38
17 プフロフェジン	水和剤	112	113	37
18 テフフェノジド	水和剤	122	123	29
19 エチプロール	水和剤	119	119	31
20 エトフェンブロックス	乳剤	114	114	35
21 MEP	乳剤	114	115	34
22 エトフェンブロックス アゾキシストロピン	水和剤	115	115	34
23 エトフェンブロックス トリシクラゾール	水和剤	117	117	33
24 テフフェノジド プフロフェジン フルトラニル	水和剤	112	113	37
25 ジノテフラン トリシクラゾール	水和剤	133	135	26

注1  
D50: この数値以下の粒子が全体の体積の  
50%を占める。  
VMD: 体積中位径  
R100: 100 μm以下の粒子が占める体積割合

注2  
D50、VMD及びR100のいずれも、3回測定した  
平均値。



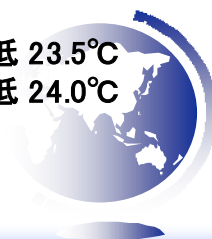
### シミュレーション評価に用いた気象条件

アメダスデータ新潟(平成14年から平成23年の10年間の8月1日から7日の平均値の繰り返し)を利用した。

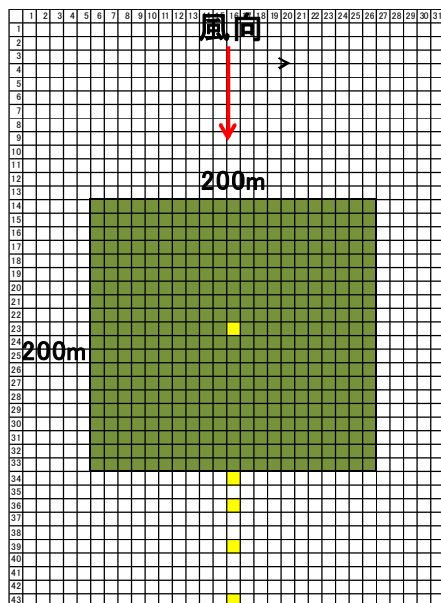
- \* 気温 : 平均 27.8°C      最高 31.8°C      最低 24.2°C
- \* 気圧 : 平均 1009.8hPa    最高 1012.8hPa    最低 1007.5hPa
- \* 風速 : 平均 2.6m/s      最高 4.2m/s      最低 1.3m/s
- \* 日射量 : 最高 3.102MJ/m<sup>2</sup>      1日平均 20.918MJ/m<sup>2</sup>/日

データの得られない気象要素は昨年度行った実測値を平均して使用した。

- \* 田面水温度 : 平均 26.0°C      最高 29.8°C      最低 23.5°C
- \* 地表面温度 : 平均 27.0°C      最高 32.0°C      最低 24.0°C  
(裸地ほ場)



### ほ場(水田)の大きさ



## 農薬の揮散フラックス

(田面水や地表面からの大気への移行速度)

二重境膜モデル(the two-film model, Mackeyら、*Environ. Sci. Technol.* 1983, 17, 211-217)により推算し、シミュレーションモデル内でのエミッションとした。

$$F = K_{ol}(C_w - C_a RT/H)$$

R: 気体定数(8.3Pa m<sup>3</sup> mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>)

T: 絶対温度(K)

H: ヘンリー一定数(Pa m<sup>3</sup> mol<sup>-1</sup>)

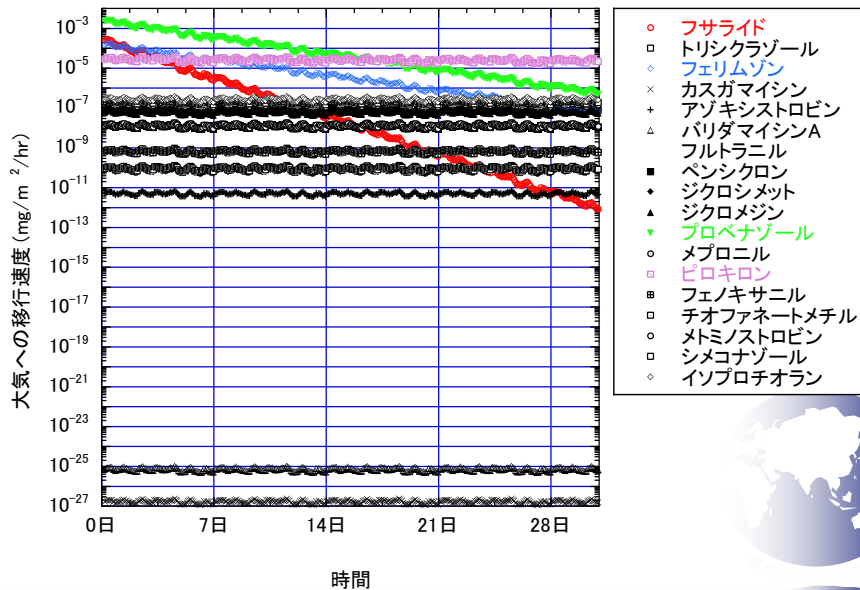
C<sub>w</sub>とC<sub>a</sub>: 評価対象農薬の水相中と気相中の濃度

K<sub>ol</sub>(m s<sup>-1</sup>): 水層k<sub>w</sub>と気層k<sub>a</sub>における物質移動係数の寄与かならる全体の物質移動係数

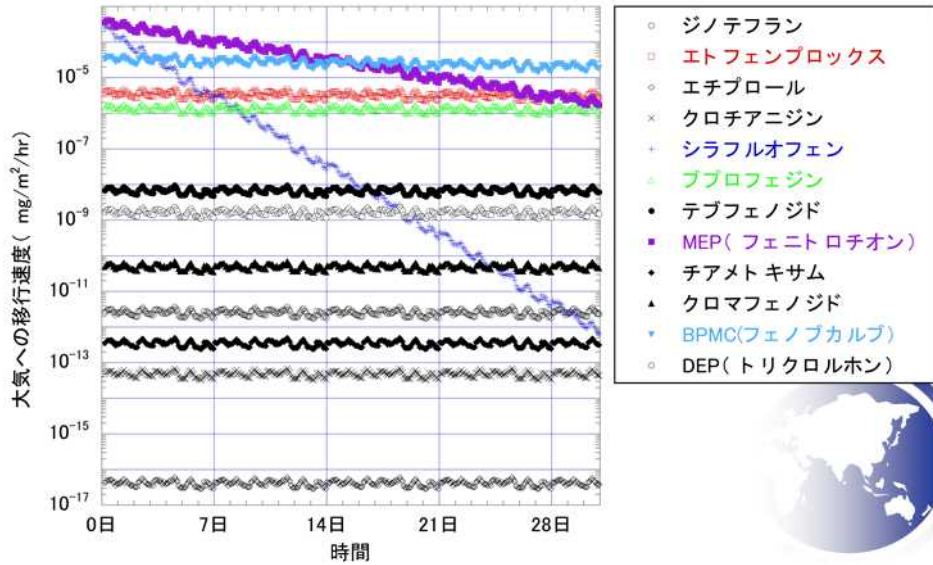
$$1/K_{ol} = RT/H \times 1/k_a + 1/k_w$$



## 大気への移行(揮散)速度の推移(殺菌剤)



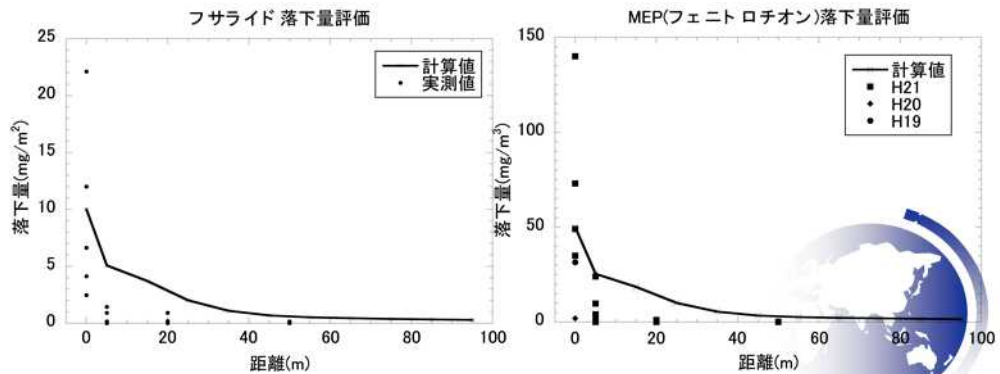
## 大気への移行(揮散)速度の推移(殺虫剤)



## シミュレーション結果の検証

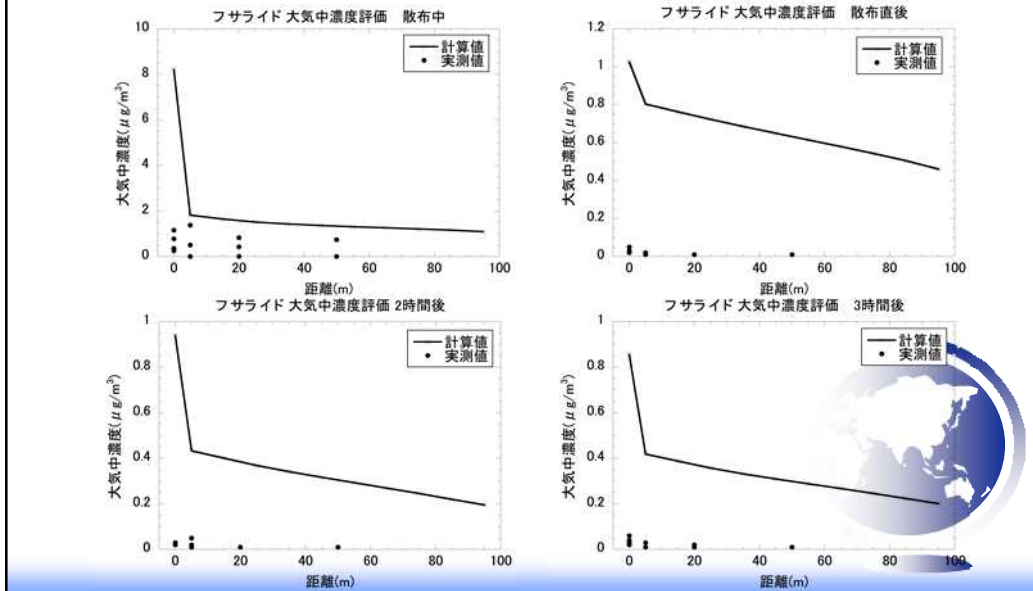
シミュレーションデータ(計算値)とモニタリングデータ(実測値)との比較

### ○ 落下量



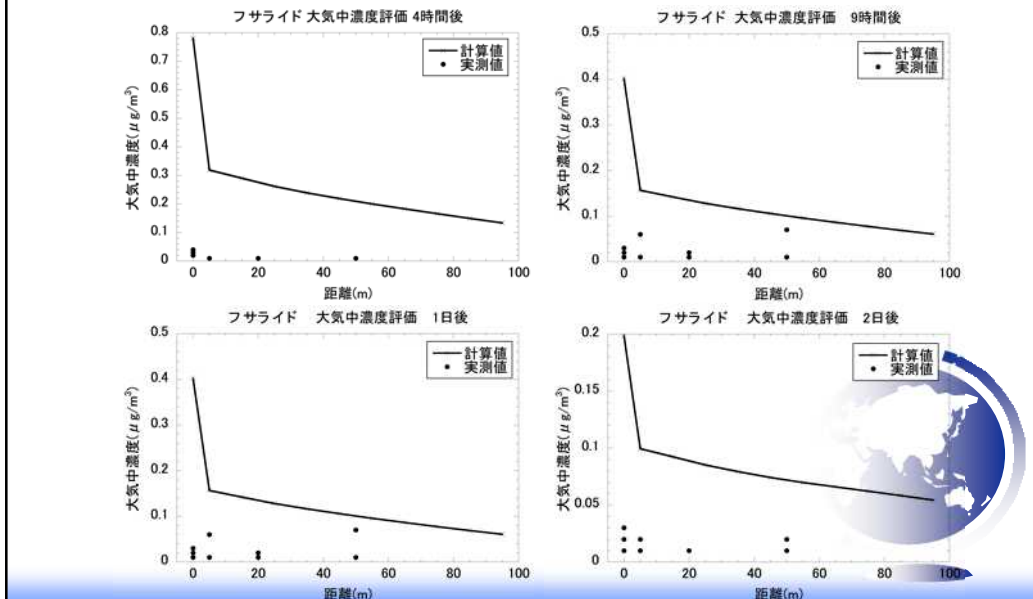
## シミュレーションデータ(計算値)とモニタリングデータ(実測値)との比較

### ○ 大気中濃度(フサライド-1)



## シミュレーションデータ(計算値)とモニタリングデータ(実測値)との比較

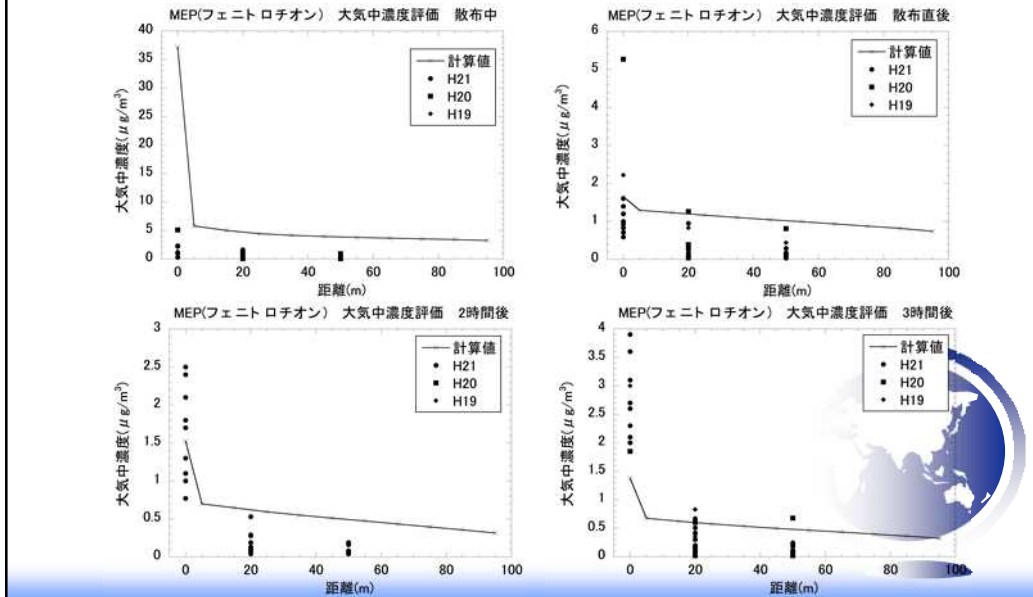
### ○ 大気中濃度(フサライド-2)





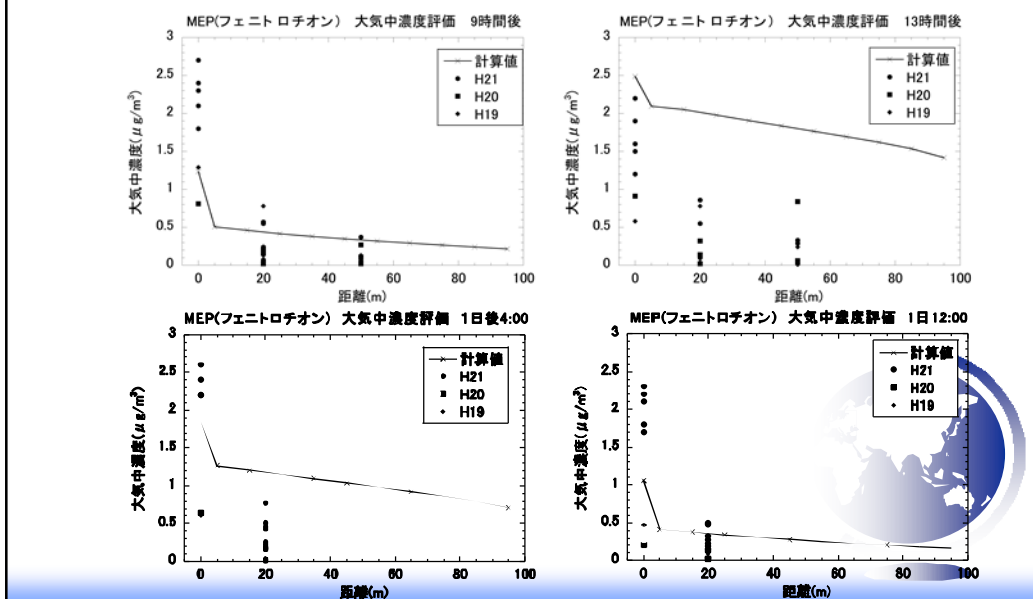
## シミュレーションデータ(計算値)とモニタリングデータ(実測値)との比較

### ○ 大気中濃度(フェニトロチオン-1)



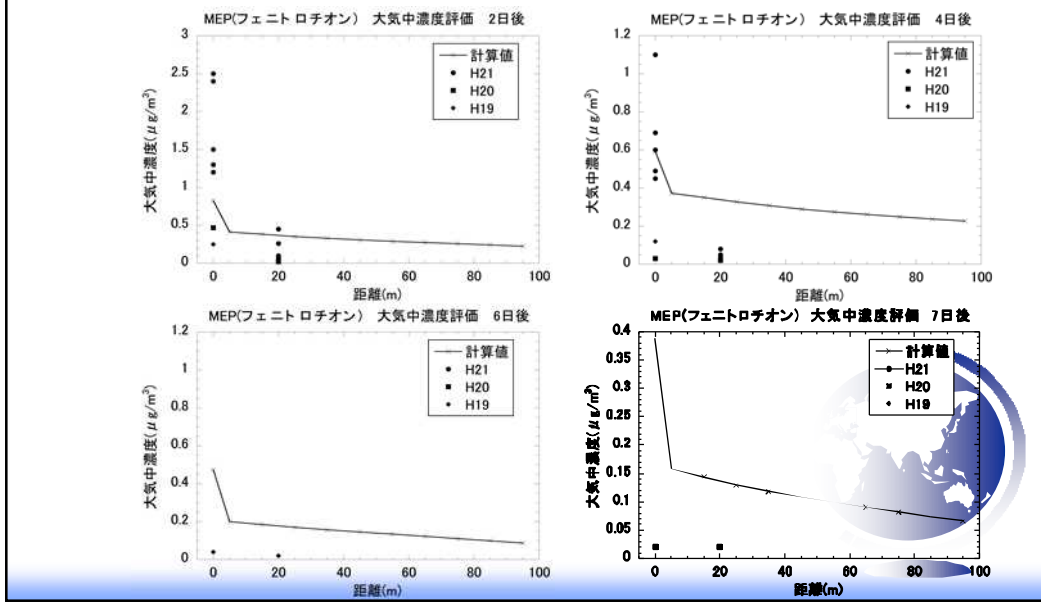
## シミュレーションデータ(計算値)とモニタリングデータ(実測値)との比較

### ○ 大気中濃度(フェニトロチオン-2)



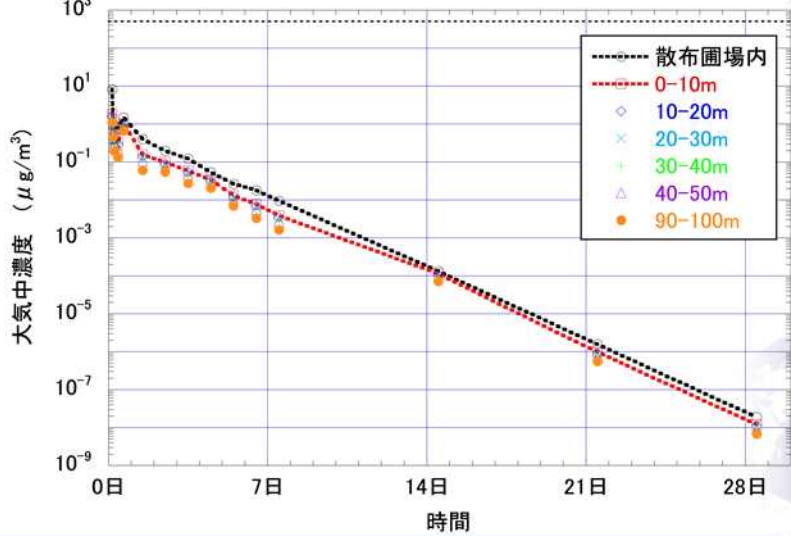
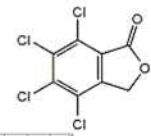


シミュレーションデータ(計算値)とモニタリングデータ(実測値)との比較  
 ○ 大気中濃度(フェニトロチオン-3)



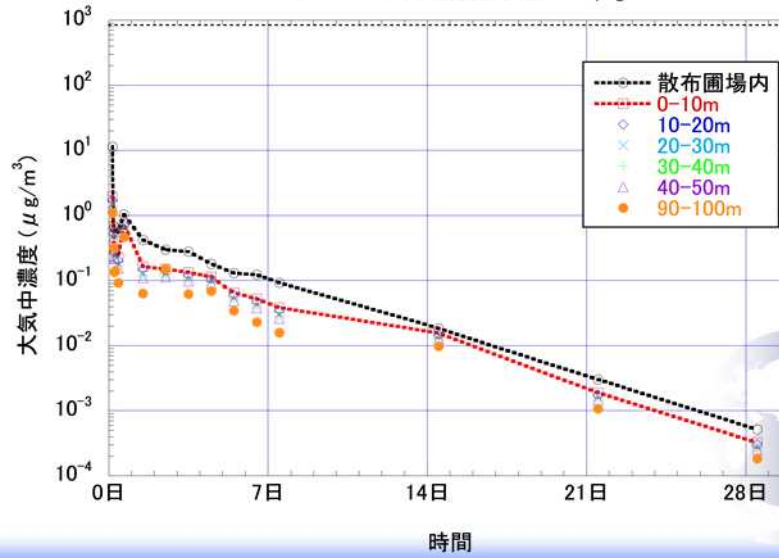
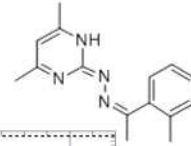
シミュレーション結果(大気濃度:フサライド)

フサライド<sup>2</sup> 気中濃度評価値:  $520 \mu\text{g}/\text{m}^3$



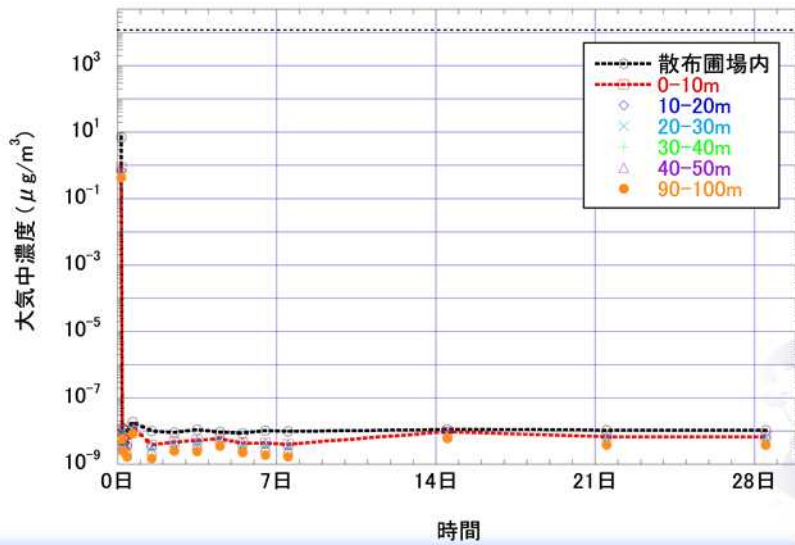
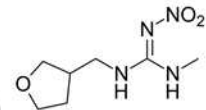
### シミュレーション結果(大気濃度:フェリムゾン)

フェリムゾン 気中濃度評価値:  $820 \mu\text{g}/\text{m}^3$



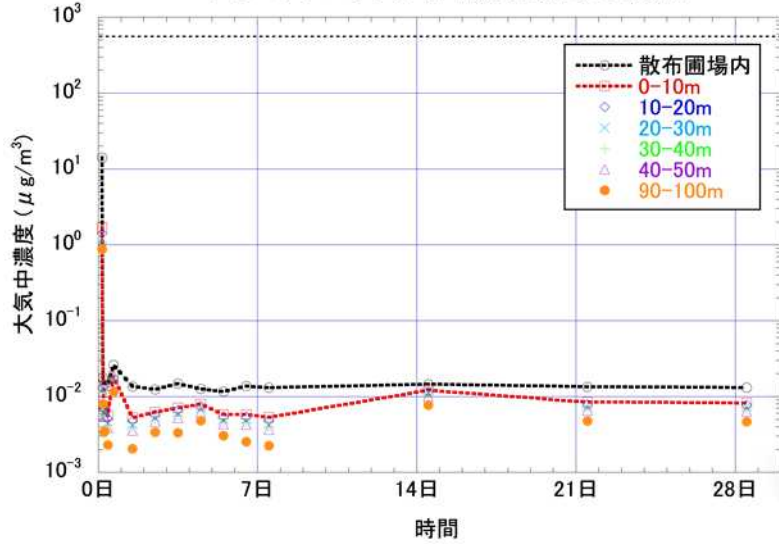
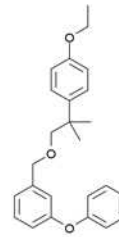
### シミュレーション結果(大気濃度:ジノテフラン)

ジノテフラン 気中濃度評価値:  $11,200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $11.2\text{mg}/\text{m}^3$ )



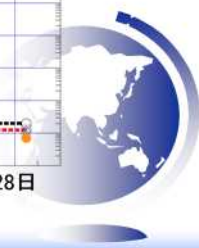
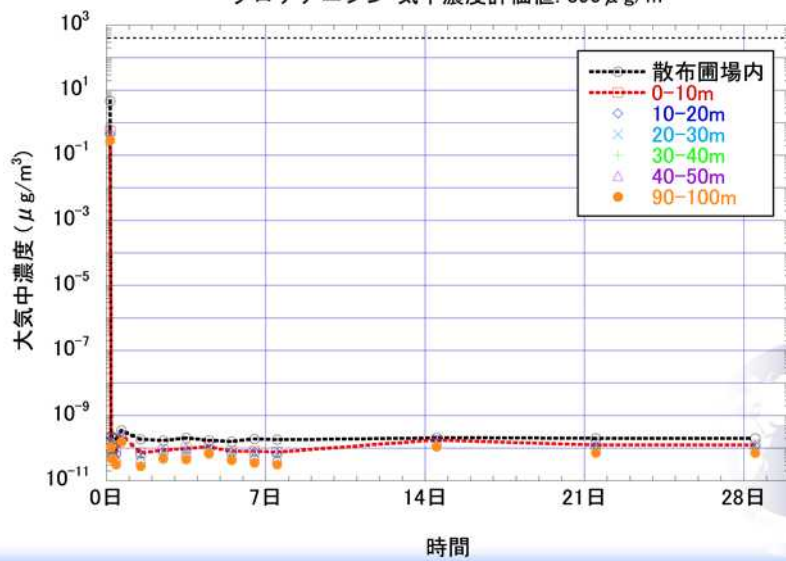
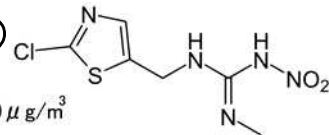
### シミュレーション結果(大気濃度: エトフェンプロックス)

エトフェンプロックス 気中濃度評価値:  $560 \mu\text{g}/\text{m}^3$



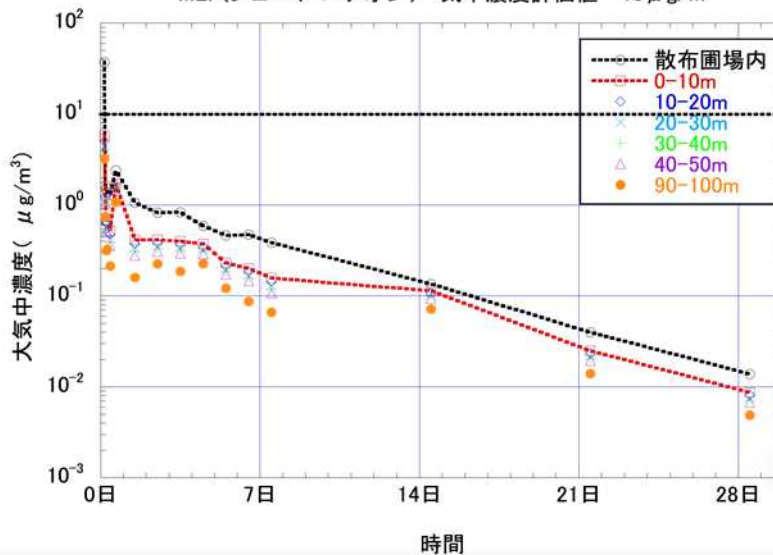
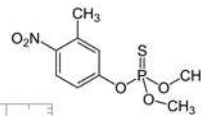
### シミュレーション結果(大気濃度: クロチアニジン)

クロチアニジン 気中濃度評価値:  $390 \mu\text{g}/\text{m}^3$



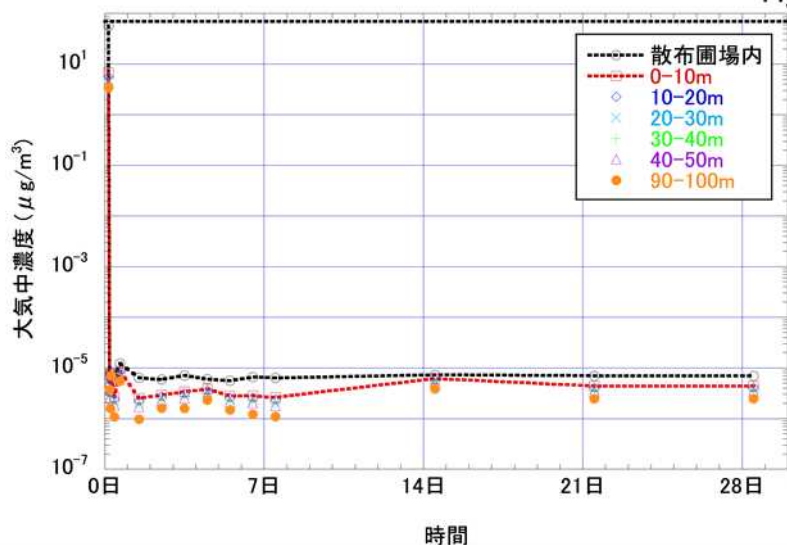
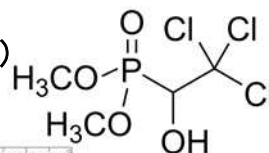
### シミュレーション結果(大気濃度:フェニトロチオン)

MEP(フェニトロチオン) 気中濃度評価値  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$

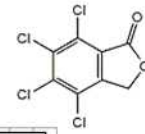


### シミュレーション結果(大気濃度:トリクロルホン)

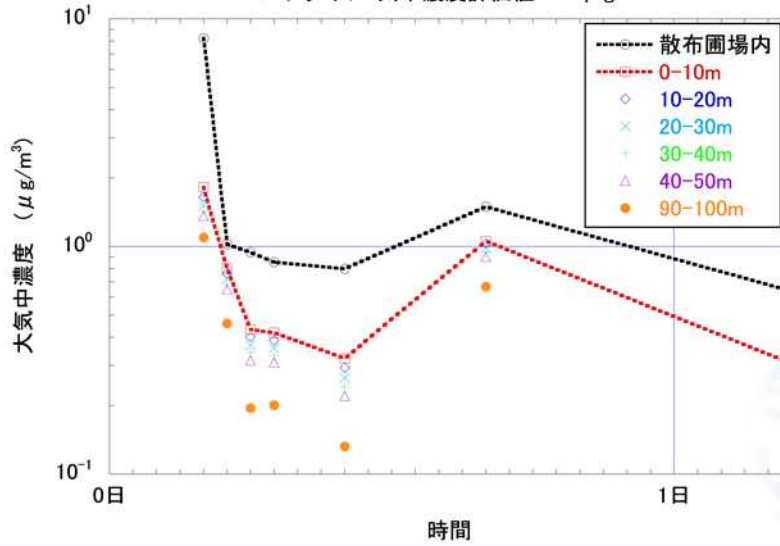
DEP(トリクロルホン) 気中濃度評価値:  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$



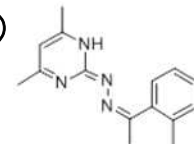
### シミュレーション結果(大気濃度:フサライド(初期))



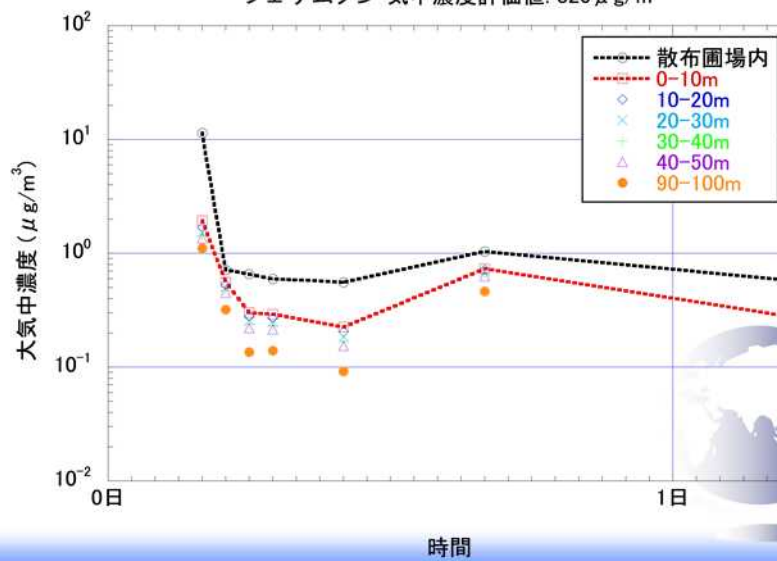
フサライド 気中濃度評価値:  $520 \mu\text{g}/\text{m}^3$



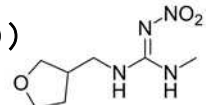
### シミュレーション結果(大気濃度:フェリムゾン(初期))



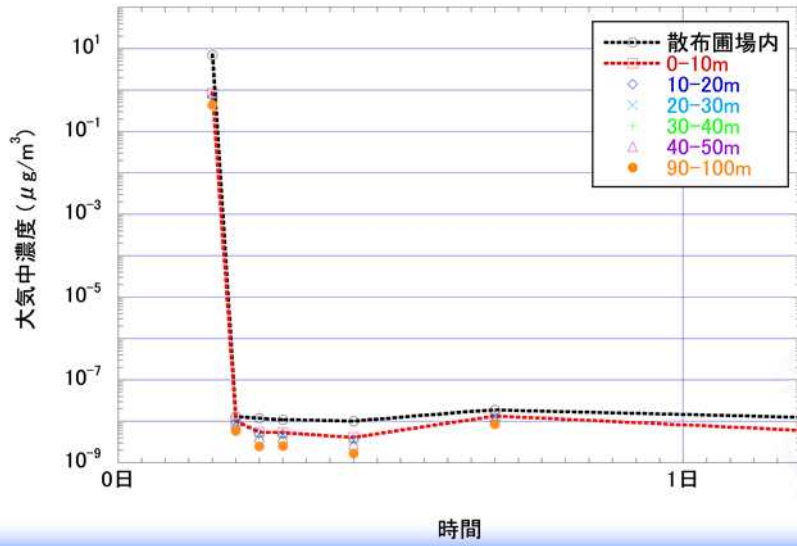
フェリムゾン 気中濃度評価値:  $820 \mu\text{g}/\text{m}^3$



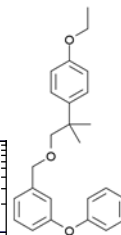
### シミュレーション結果(大気濃度:ジノテフラン(初期))



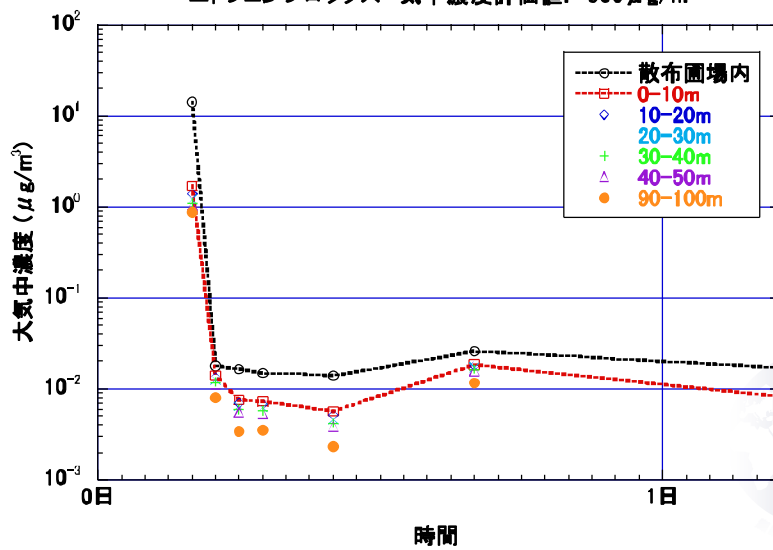
ジノテフラン 気中濃度評価値:  $11,200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $11.2\text{mg}/\text{m}^3$ )



### シミュレーション結果(大気濃度:エトフェンプロックス(初期))

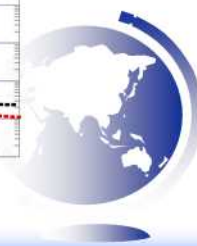
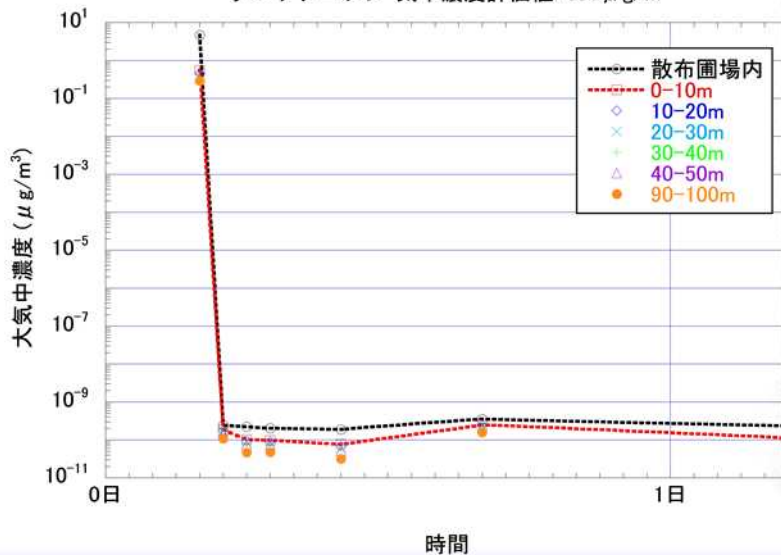
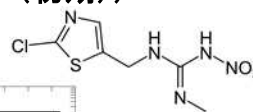


エトフェンプロックス 気中濃度評価値:  $560 \mu\text{g}/\text{m}^3$



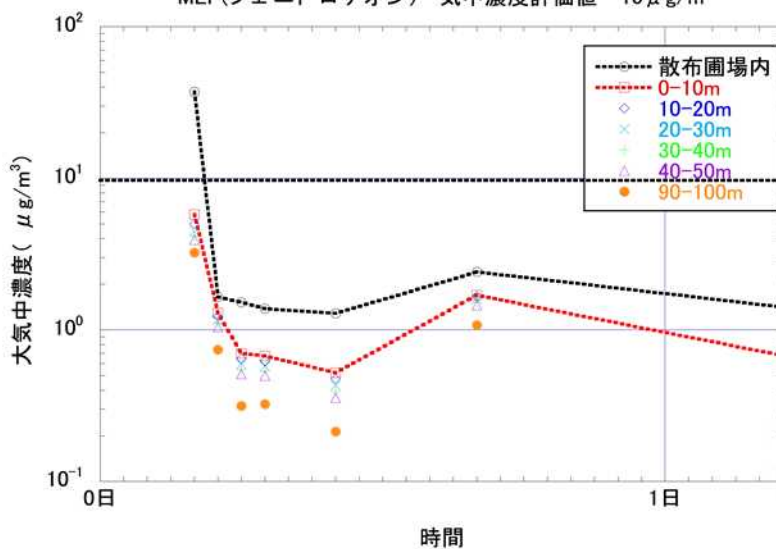
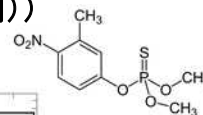
### シミュレーション結果(大気濃度:クロチアニジン(初期))

クロチアニジン 気中濃度評価値:  $390 \mu\text{g}/\text{m}^3$



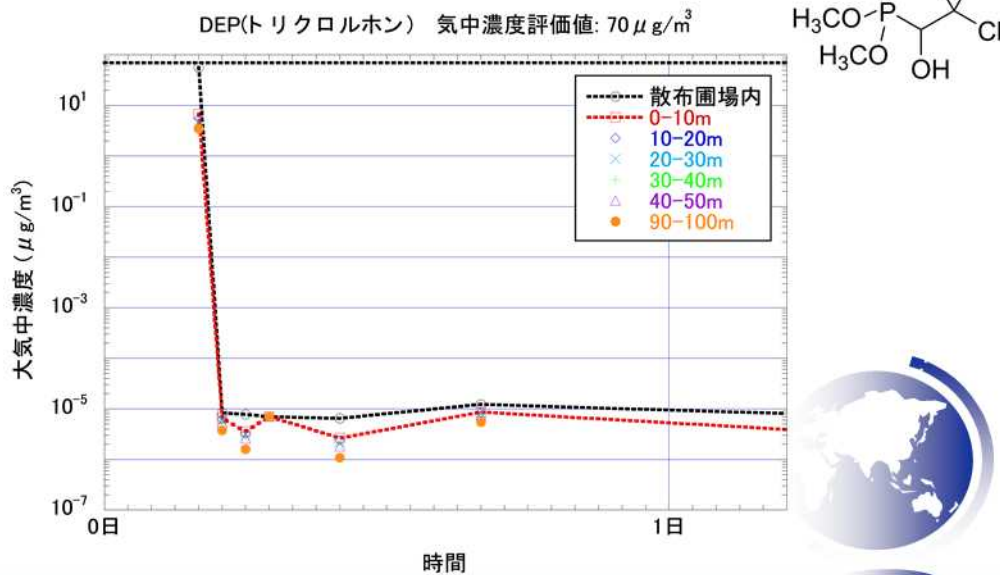
### シミュレーション結果(大気濃度:フェニトロチオン(初期))

MEP(フェニトロチオン) 気中濃度評価値  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$





## シミュレーション結果(大気濃度:トリクロロホン(初期))



## まとめ

・スプレードリフト(AgDRIFT)とペーパードリフト(CALPUFF)のシミュレーションモデルを組み合わせることで、現実的な条件下における最大のばく露となる農薬の飛散動態評価を実施。

・無人ヘリコプターによる農薬での飛散分布と経時的な推移の評価(相対的な飛散評価)は可能。

### 今後の課題

・本シミュレーションモデルを農薬メーカーや無人ヘリコプター製造メーカーが容易に利用できるよう、汎用化やマニュアルの作成が必要。

・本シミュレーションモデルを活用して、製剤・施用法の改良などによるリスク管理措置の低減効果の評価。

## (参考)シミュレーション条件設定に係る感度分析

### 1.スプレードリフトに係る分析

- (1) 気温の影響
- (2) 湿度の影響
- (3) 風速の影響
- (4) ほ場面積の影響
- (5) 無人ヘリコプターの機種の影響
- (6) 農薬有効成分の蒸発速度の影響
- (7) 散布高度の影響

### 2.ベーパードリフトに係る分析

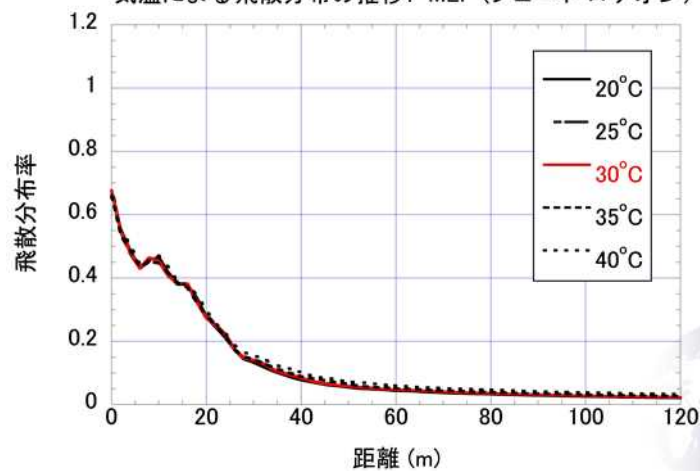
スプレードリフト(散布中と散布直後)と  
ベーパードリフト(散布中と散布後長期)について、別に評価を行う。



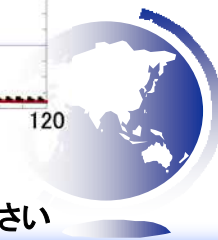
## 1.スプレードリフトに係る分析

### (1) 気温の影響

気温による飛散分布の推移: MEP (フェニトロチオン)

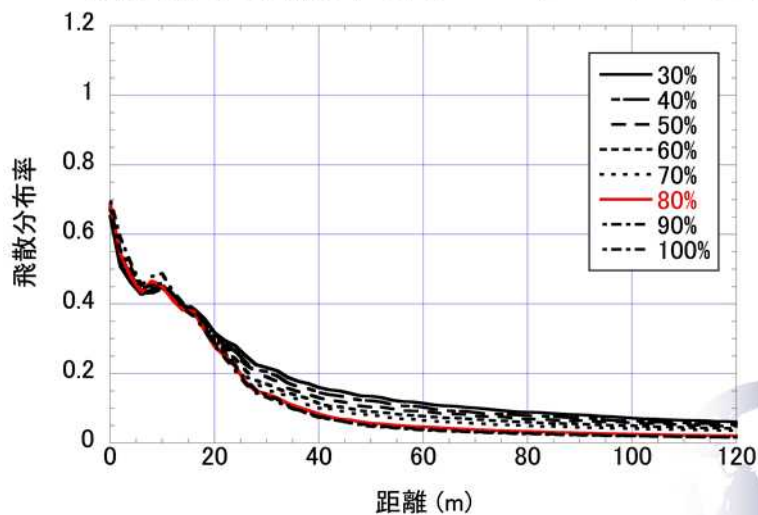


気温の飛散落下量分布への影響への影響は小さい



## (2) 湿度の影響

相対湿度による飛散分布の推移: MEP (フェニトロチオン)

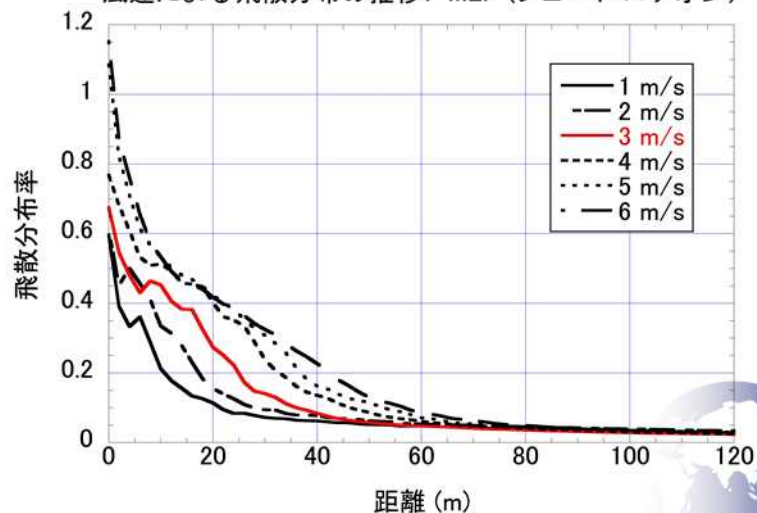


相対湿度の飛散落下量分布への影響への影響は小さい  
散布時(明け方)の相対湿度は高く、70%を超えほぼ80%である



## (3) 風速の影響

風速による飛散分布の推移: MEP (フェニトロチオン)

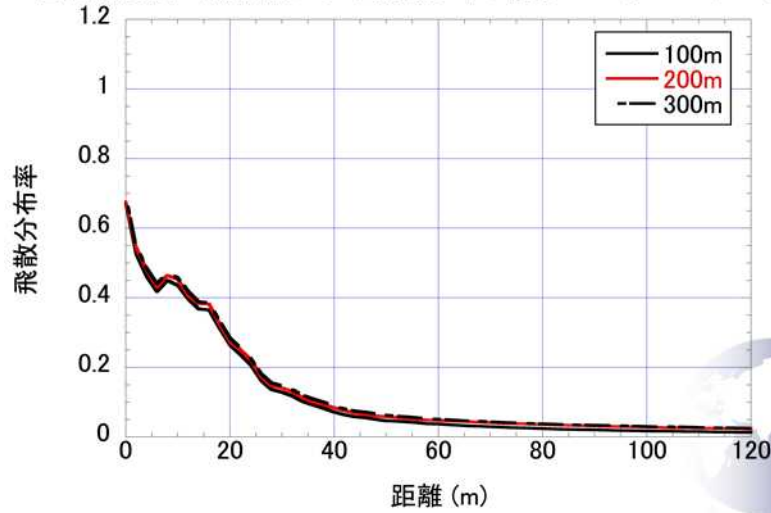


風速の飛散落下量分布への影響への影響は大きい  
しかし、無人ヘリコプターの場合には、3m/sに限られている



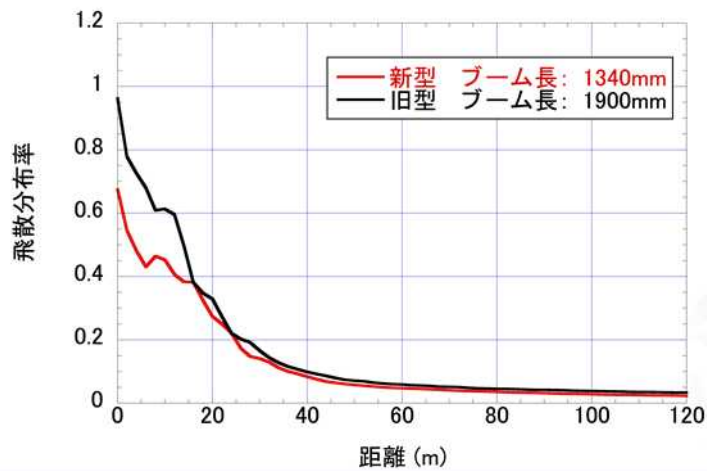
#### (4) ほ場面積の影響

圃場規模(風上側距離)による飛散分布の推移: MEP(フェニトロチオン)



#### (5) 無人ヘリコプターの機種の影響: ノズルの位置の違い

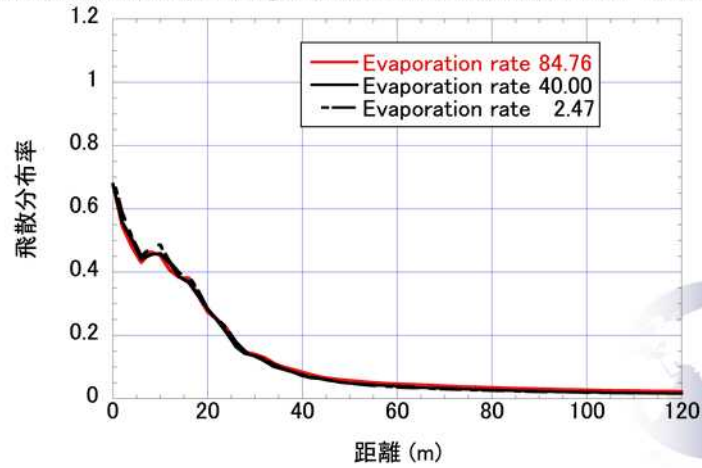
ヘリコプターの新旧の機種による飛散分布の差異: MEP(フェニトロチオン)



## (6) 農薬有効成分の蒸発速度の影響:

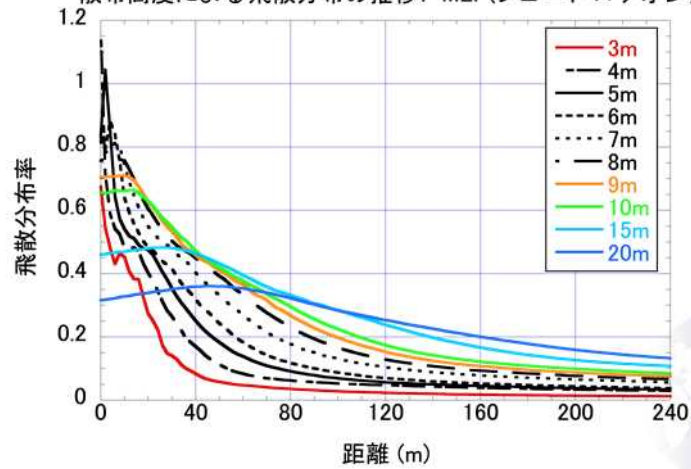
通常:  $2.47 \sim 84.76 \mu\text{m}^2/\text{degC}/\text{sec}$ 、フェニトロチオンを例に

有効成分の蒸発速度 ( $\mu\text{m}^2/\text{degC}/\text{sec}$ ) の差異による飛散分布率への影響



## (7) 散布高度の影響

散布高度による飛散分布の推移: MEP(フェニトロチオン)



散布高度の飛散落下量分布への影響への影響は大きい

## 2.ペーパードリフトに係る分析 大気中と水中での拡散速度の評価

### \* FSG 法

$$D_{\text{air}} = 0.001 T^{1.75} M_r^{1/2} / (P (V_A^{1/3} + V_B^{1/3})^2)$$

D: 拡散係数 (cm<sup>2</sup>/sec)

T: 温度 (K)

M<sub>r</sub>: 分子量

$$M_r = (M_A + M_B) / (M_A M_B)$$

M<sub>A</sub>: 大気 of 分子量 (28.97 g/mol)

M<sub>B</sub>: 評価対象物質 of 分子量

V<sub>A</sub>: 大気 of モル体積(約20.1 cm<sup>3</sup>/mol)

V<sub>B</sub>: 評価対象物質 of モル体積

P: 圧力 (atm)

### \* Hayduk and Luide法

$$D_{\text{water}} = 13.26 \times 10^{-5} / h^{1.14} (V_B')^{0.589}$$

h: 水 of 粘度

V<sub>B</sub>' : モル体積 of LaBas 評価



## 評価対象農薬の拡散定数の温度依存性の評価

評価対象農薬の大気中における拡散定数の温度依存性

