

## 農薬の大気経路による飛散リスク評価・管理対策 中間報告書（粗案）

## 第 1 章 はじめに

## 1. 本報告書の目的

散布農薬が人の健康に与える影響については、現在、食品や水経路の摂取を考慮した消費者の安全性の確保、農薬散布者に対する安全性の確保等の観点からリスク評価・管理措置が行われている。一方、大気を経由した農薬ばく露については、環境省は平成 9 年に有人ヘリコプターを用いた航空防除により散布された農薬を対象にリスク評価を行ったが、その後、有人ヘリコプターから無人ヘリコプターへと散布形態が大きく変化するとともに、使用農薬も大きく変化してきたが、無人ヘリコプターにより散布した農薬の大気を経由したばく露についてこれまでリスク評価が行われていない。

このような現状を踏まえ、無人ヘリコプターにより散布される農薬について大気経路による人への健康影響に関する適切なリスク評価・管理手法として、農薬吸入毒性試験に基づく毒性評価、モニタリングデータを踏まえた農薬飛散ばく露量のシミュレーションモデルを用いたばく露評価によりリスク評価を行うとともに、その評価を踏まえたリスク管理措置案を提案することとした。本報告書は、これまでの調査、検討を通じて得られた知見を踏まえ、無人ヘリコプターにより散布された農薬による散布地周辺住民の健康への影響について、現時点での知見に基づき取りまとめたものである。

## 2. 無人ヘリコプターによる農薬散布の現状

## (1) 無人ヘリコプターによる農薬散布の状況

無人ヘリコプターによる農薬の散布は、農業労働力の軽減、病害虫防除のコスト低減を実現できる上、地域全体で発生する病害虫の効率的防除が可能であること、有人ヘリコプターより機動性が高くきめ細やかな作業を低空飛行によって実施するため、薬剤の飛散など周辺への影響をコントロールしやすいことなどから、平成 23 年度には全国約 97 万 ha で無人ヘリコプターによる農薬散布が実施されている。水稻が無人ヘリコプター散布の 9 割を占め、次いで麦類で約 6 %、大豆で約 5 % となっている。

## (2) 無人ヘリコプター使用に係る指導

人畜、農作物、周辺環境等に対する安全性を確保しつつ、無人ヘリコプターを使用した適正な農薬散布を目的に、農林水産省により「無人ヘリコプター利用技術指導指針」（平成 3 年 4 月：農林水産省農蚕園芸局長通知）が発出され、①周辺住民、周辺の作業環境に留意した実施計画の策定、②学校、病院等の公共施設、周辺住民等に対する実施計画の事前周知の徹底、③風速・風向等を考慮した適切な条件下での実施、④実施区域への立ち入り防止対策、農薬飛散低減対策の徹底、⑤機体等の保管管理の徹底、などの安全対策が指導されている。

また、一般社団法人農林水産航空協会は、無人ヘリコプター利用の適正な推進を目的として、産業用無人ヘリコプター運用要領を定め、機体の登録やオペレーター技能の確認を行い認定を受けた機体及びオペレーターに利用を限定しているほか、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安全対策マニュアル等を作成し、無人ヘリコプターのオペレーターや補助員への指導を行っている。

## 第2章 無人ヘリコプター散布農薬に係るリスク評価の対象

この章以降、無人ヘリコプターにより散布された農薬についてリスク評価を行うこととするが、本章では、リスク評価の対象を明らかにする。

### 1. 評価対象者

散布に係る防護具等を付けていない一般市民（通行者及び近隣住民）をリスク評価対象者とする。

通行者のばく露は一過性（1 ha のほ場（100m×100m）の1辺を通行する場合、通過に要する時間（=ばく露時間）は1.5分）と考えられる。また、近隣住民のばく露は、気中農薬が減衰するまで継続的なものと考えられるが、さらに建物による遮へいによる低減が期待できる。

しかしながら今回は、より安全側に立って評価を行うとの考えから、継続的に遮へい物が無い状況で、なおかつ通過するのではなくその場に立ち止まって、農薬のばく露を受け続けるとの条件で評価を行う。

### 2. 評価の対象とするばく露経路

無人ヘリコプター散布農薬について、次の2つの経路によるばく露について評価を行う。

#### ① 経気道ばく露

大気中で浮遊している液状噴霧微粒子（ミスト）及び揮散した農薬成分を吸入することによるばく露について評価を行う。

なお、ミストについては、散布終了後は速やかに散逸又は落下するものと考えられることから、散布中のみ考慮することとし、散布終了後は揮散によるばく露について評価を行うこととする。

農薬（液剤）の散布で発生するミストについては、慣行ノズルを用いた慣行法での液剤の散布では、体積中位粒径（VMD）は数十～百 $\mu\text{m}$ 、ドリフト低減ノズルを用いた場合で百～数百 $\mu\text{m}$ とされており、10 $\mu\text{m}$ 以下の粒径のミストはほとんど含まれていないが、粒径の小さなミストほど長時間浮遊すると考えられることから、より安全側に評価を行うため、散布時のミストについても考慮した。

#### ② 経皮ばく露

噴霧された農薬の液体噴霧微粒子の落下・付着した成分を経皮吸収することによるばく露について評価を行う。

### 3. ばく露量を推定する地点及び時間

農薬のばく露については、散布地点からの距離及び散布後の時間経過により、減衰していくこととなることから、次に示す距離及び時間それぞれについてばく露量をシミュレーションにより推定し、評価を行うこととする。

#### (1) 距離

風下側 0～100m までを 10m ずつ区分した 10 地点についてシミュレーションにより推定する。

#### (2) 経過時間

##### ア. 経気道ばく露

散布中（1 時間）、散布開始 1～2 時間（散布終了直後から 1 時間）、2～3 時間、3～4 時間、6～7 時間、12～13 時間、1 日後、2 日後、3 日後、4 日後、5 日後、6 日後、7 日後、14 日後、21 日後、28 日後のそれぞれについて、揮散によるばく露量をシミュレーションにより推定する。なお、散布中（1 時間）のばく露量は、ミストによるばく露も考慮するため、落下するミストの積算値と揮散によるばく露量を合算した値とする。

なお、散布当日の 4～6 時間、7～12 時間、13～24 時間、8～13 日、15～20 日、22～27 日については、それぞれ、3～4 時間、6～7 時間、12～13 時間、7 日後、14 日後、21 日後の数値を用いてばく露量を算出することとする。

##### イ. 経皮ばく露

散布中（1 時間）に落下するミストばく露について、シミュレーションにより 1 時間分を積算して推計する。

### 4. 評価対象農薬

水稲における無人ヘリコプター農薬散布の実績を踏まえ、表 1 に示す農薬成分について評価を行う。

表 1 : 無人ヘリコプター防除（水稲）における農薬の使用実績（平成 21～23 年度全国平均）

		農薬成分名	系統名	使用実績 (1000ha)
殺菌剤	1	フサライド	メラニン生合成阻害剤	270
	2	トリシクラゾール	メラニン生合成阻害剤	147
	3	フェリムゾン	その他の合成抗菌剤	128
	4	カスガマイシン	抗生物質殺菌剤	111
	5	アゾキシストロビン	メキシアクリレート系阻害剤	97
	6	バリダマイシンA	抗生物質殺菌剤	82
	7	フルトラニル	酸アミド系殺菌剤	48
	8	ペンシクロン	尿素系殺菌剤	18
	9	ジクロシメット	メラニン生合成阻害剤	12
	10	ジクロメジン※	その他の合成抗菌剤	9
	11	プロベナゾール	その他の合成抗菌剤	8
	12	メプロニル	酸アミド系殺菌剤	6
	13	ピロキロン	メラニン生合成阻害剤	6
	14	フェノキサニル	メラニン生合成阻害剤	5
	15	チオファネートメチル	ベンゾイミダゾール系殺菌剤	3
	16	メミノストロビン	メキシアクリレート系阻害剤	1
	17	イソプロチオラン	ジチオラン系殺菌剤	0.37
	18	シメコナゾール	ステロール生合成阻害剤	0.13
殺虫剤	1	ジノテフラン	ネオニコチノイド系殺虫剤	345
	2	エトフェンプロックス	ピレスロイド系殺虫剤	154
	3	エチプロール	フェニルピラゾール系殺虫剤	73
	4	クロチアニジン	ネオニコチノイド系殺虫剤	70
	5	シラフルオフエン	ピレスロイド系殺虫剤	49
	6	ブプロフェジン	昆虫成長制御剤	48
	7	テブフェノジド	昆虫成長制御剤	45
	8	MEP(フェニトロチオン)	有機リン系殺虫剤	11
	9	チアメキサム	ネオニコチノイド系殺虫剤	4
	10	クロマフェノジド	昆虫成長制御剤	1
	11	BPMC(フェノプカルブ)	カーバメート系殺虫剤	0.7
	12	DEP(トリクロルホン)※	有機リン系殺虫剤	0.6

※：ジクロメジンは平成 23 年 3 月 31 日に農薬登録が失効、

DEP（トリクロルホン）は平成 25 年 2 月 27 日に無人ヘリコプター散布に係る適用が削除

## 第3章 無人ヘリコプター散布農薬に係る毒性評価

無人ヘリコプターにより散布された農薬について、大気経由のばく露として経気道によるばく露と経皮によるばく露が想定される。この章では、毒性評価算出について記載し、経気道に係るばく露の毒性評価を行うこととする。

### 1. 毒性評価算出の考え方

#### (1) 経気道によるばく露

##### ① 経気道によるばく露の毒性評価値

経気道によるばく露の毒性評価値として、人の健康を保護する観点から、無人ヘリコプターにより散布される農薬による人の健康への影響を評価する際の目安となる気中濃度評価値を設定することとし、吸入毒性試験結果を基に適切な安全幅を見込んだ許容一日経気道ばく露量から算定する。具体的には、評価対象農薬のうち、吸入毒性試験を実施した農薬について、個別に許容一日経気道ばく露量を算定し、そこから気中濃度評価値を算出し毒性評価を行う。

本評価値は、28日間の反復投与吸入毒性試験又は90日間の亜慢性吸入毒性試験における無毒性量に基づいて設定しており、安全と危険との明らかな境界を示すものではない。一般に、気中濃度評価値以下の濃度であれば、この期間吸入を続けたとしても人の健康に好ましくない影響が起きることはないと考えられる。そのため、気中濃度が短期間わずかにこの値を超えることがあっても、直ちに人の健康に影響があるというものではないことに留意する。なお、リスク評価に当たっては、ばく露の実態に加え、評価値の算出に用いた試験期間についても考慮することが必要である。

##### ② 気中濃度評価値の算出方法

気中濃度評価値は具体的に以下の方法で算定する。

#### ア. ヒトで許容される経気道ばく露量（許容一日経気道ばく露量）

ラットの亜急性吸入毒性試験等の無毒性量から、以下の式を用い許容一日経気道ばく露量を算出する。

$$\begin{aligned} \text{許容一日経気道ばく露量 (mg/kg 体重/日)} \\ = \text{ラットの無毒性量 (mg/kg 体重/日)} \times 1/100 \text{ (種差、個体差)} \end{aligned}$$

#### イ. 気中濃度評価値

ア. で求められたばく露量から、ヒトの呼吸量を用いて以下の式を用いて気中濃度評価値を設定する。

$$\begin{aligned} \text{気中濃度評価値 (mg/m}^3\text{)} = \text{許容一日経気道ばく露量 (mg/kg 体重/日)} \\ \div \{ \text{呼吸量 (L/min/kg 体重)} \times 1/1000\text{m}^3\text{/L} \times 60\text{min} \times 24\text{h/日} \} \end{aligned}$$

※成人、小児について算出し、より小さい値を採用する。

呼吸量：

成人の平均呼吸量は 0.200 L/min/kg 体重と仮定する。

←1 日の平常の活動状況を休息 16 h/日 (休息時の呼吸量 8 L/min<sup>(※出典 1)</sup>)、軽作業 8 h/日 (軽作業時の呼吸量 16 L/min<sup>(※出典 2)</sup>) とし、成人の平均体重 53.3 kg 体重を用いて 0.200 L/min/kg 体重が算出。

小児の平均呼吸量は 0.403 L/min/kg 体重と仮定する。

←小児の 1 日当たりの呼吸量 8.7 m<sup>3</sup>/日<sup>(※出典 3)</sup>及び小児の平均体重 15 kg 体重<sup>(※出典 3)</sup>から 0.403 L/min/kg 体重が算出。

ただし、小児の感受性を考慮し、個別農薬の毒性試験結果において児動物に対する明らかな影響が認められる場合には、さらに安全係数を乗ずることを検討する。

また、同様に、妊婦等の感受性についても、妊娠動物又は胎児への明らかな毒性影響が認められている場合には、妊婦又は胎児に対する影響を考慮してさらに安全係数を乗ずることを検討する。

## (2) 経皮によるばく露

### ① 経皮によるばく露の毒性評価値

経皮によるばく露の毒性評価値として、一日摂取許容量 (ADI) から算定することを検討したが、ア. 無人ヘリコプター散布農薬の経気道によるばく露において、毒性評価は、亜急性吸入毒性試験の無毒性量から呼吸量や一定の安全係数を用いて算出した気中濃度評価値で行っており、これにシミュレーションモデルを用いて算出した短期間のばく露評価と比較して、経気道によるばく露のリスク評価を行っている。

イ. 作業員ばく露許容量 (AOEL) は、「作業員が健康への有害な作用を受けることなくばく露される、有効成分の最大量」と定義されており、作業員や居住者が短期間ばく露で有害作用を受けないように設定することとしている。なお、AOEL の設定では、検討される毒性試験は亜急性経口毒性試験等を活用している。

ウ. 上記を踏まえると、経皮によるばく露の毒性評価についても、農薬の食品健康影響評価の各種試験の毒性評価等を活用しつつ、経気道によるばく露と同様、亜急性経口毒性試験 (登録農薬についてはデータが存在) の結果から算定する手法が可能ではないかと考えられる。

エ. ウの毒性評価が実施できれば、前回の検討会で課題提起された、短期間のばく露評価と生涯にわたり毎日摂取し続けても影響が出ないと考えられる一日当たりの量である ADI を比較したリスク評価を実施する必要がない。

上記を踏まえて、農薬の食品健康影響評価の各種試験の毒性評価を活用しつつ亜急性経口毒性試験から経皮によるばく露の毒性評価値を算定する手法について、農薬吸入毒性部会で検討する。

## 2. 毒性評価値の算出結果

1. の毒性評価の考え方に基づき、経気道ばく露における気中濃度評価値を算出した。

気中濃度評価値算出に当たり、得られている吸入毒性試験の結果を表2に示す。これらの結果から得られた無毒性量に基づき、小児及び成人について、それぞれの呼吸量を踏まえて気中濃度評価値を算出し、より値の低い小児の気中濃度評価値を当該農薬成分の気中濃度評価値とした（表3）。

なお、小児及び妊婦の感受性について、児動物及び妊娠動物又は胎児への明らかな毒性影響について確認したところ、いずれも認められなかったことから（表4）、さらに安全係数を乗ずる必要はないと考えられる。

表2 吸入毒性試験対象農薬の無毒性量のまとめ

農薬成分名	試験条件*					エンドポイント	無毒性量
	試験系	使用動物数	ばく露濃度群	ばく露経路	ばく露期間		
エトフェンプロックス (既存データ <sup>1)</sup> )	ラット雌雄 Wistar(Crl :COBS@W I Br)	雌雄各 15 匹/群	0, 0.042, 0.21, 1.01 (g/m <sup>3</sup> )	全身ばく露	6 時間/日, 6 日間/週, 90 日間	雄: 肝及び甲状腺絶対重量 増加 小葉中心性肝細胞肥大 甲状腺小型ろ胞増加 ろ胞上皮の丈の増加	雄: 0.21 g/m <sup>3</sup>
						雌: 肝及び甲状腺絶対重量 増加 小葉中心性肝細胞肥大	雌: 0.21 g/m <sup>3</sup>
クロチアニジン (23 年度試験実施)	ラット雌雄 (Crl:CD (SD))	雌雄各 5 匹/群	0, 0.105, 0.317, 0.732 (mg/L)	鼻部ばく露	6 時間/日, 5 日間/週, 28 日間	雄: 体重増加抑制 部分閉眼	雄: 0.105 mg/L (22.6 mg/kg 体重/日)
						雌: 体重増加抑制 部分閉眼	雌: 0.105 mg/L (24.8 mg/kg 体重/日)
ジノテフラン (22 年度に既存デ ータを評価)	ラット雌雄 (Crl:WI(G Lx/BRL/H an)BR)	雌雄各 10 匹/群	0, 0.22, 0.66, 2.08 (mg/L)	鼻部ばく露	6 時間/日, 7 日間/週, 28 日間	雄: 吸入による毒性所見な し	雄: 2.08 mg/L (649.7 mg/kg 体重/日)
						雌: 吸入による毒性所見な し	雌: 2.08 mg/L (819.3 mg/kg 体重/日)
フェリムゾン (23 年度試験実施)	ラット雌雄 (Crl:CD (SD))	雌雄各 5 匹/群	0, 0.218, 0.779, 2.19 (mg/L)	鼻部ばく露	6 時間/日, 5 日間/週, 28 日間	雄: 運動量の軽度減少 喉頭部気道上皮の軽度 の扁平上皮化生	雄: 0.218 mg/L (47.6 mg/kg 体重/日)
						雌: 運動量の軽度減少 部分及び完全閉眼	雌: 0.218 mg/L (50.7 mg/kg 体重/日)
フサライド (22 年度試験実施)	ラット雌雄 (Crl:CD (SD))	雌雄各 5 匹/群	0, 0.21, 1.10, 4.90 (mg/L)	鼻部ばく露	4 時間/日, 7 日間/週, 28 日間	雄: 体重増加抑制 摂餌量減少 肺重量(相対)の増加 肺泡沫状マクロファ ージ蓄積増加	雄: 0.21 mg/L (30.2 mg/kg 体重/日)
						雌: 体重増加抑制 摂餌量減少 肺重量(絶対、相対)の 増加 肺泡沫状マクロファ ージ蓄積増加 気管気管支リンパ節の リンパ球過形成 鼻腔嗅上皮の萎縮	雌: 1.10 mg/L (173 mg/kg 体 重/日)
MEP フェニトロチオン (既存データ <sup>2)</sup> )	ラット雌雄 (Crj:CD(S D))	雌雄各 5 匹/群	0, 2, 4, 8 (mg/m <sup>3</sup> )	鼻部ばく露	6 時間/日, 5 日間/週, 28 日間	雄: 脳及び赤血球コリン エステラーゼ活性阻害	雌: 4 mg/m <sup>3</sup>
						雌: 脳及び赤血球コリン エステラーゼ活性阻害	雌: 4 mg/m <sup>3</sup>
DEP トリクロルホン (既存データ <sup>2)</sup> )	ラット雌雄 (Crj:CD(S D))	雌雄各 10 匹/群	0, 10, 30, 100 (mg/m <sup>3</sup> )	全身ばく露	6 時間/日, 5 日間/週, 28 日間	雄: 赤血球アセチルコリン エステラーゼ活性阻害	雄: 30 mg/m <sup>3</sup>
						雌: 吸入による毒性所見な し	雌: 100 mg/m <sup>3</sup>

\* OECD テストガイドライン 412 及びその改定案に準ずる

1) 農薬評価書「エトフェンプロックス」2009 年 11 月 食品安全委員会

2) 平成 21 年度環境省請負業務報告書農薬吸入毒性評価手法確立調査(企画・調査業務)報告書



表3 吸入毒性試験対象農薬の気中濃度評価値

農薬成分名	亜急性吸入毒性試験における無毒性量		気中濃度評価値 (mg/m <sup>3</sup> )		気中濃度 評価値 (mg/m <sup>3</sup> )
	雄	雌	小児	成人	
エトフェンプロックス	0.21 mg/L (34.3 mg/kg 体重/日)	0.21 mg/L (54.3 mg/kg 体重/日)	0.59	1.12	0.59
クロチアニジン	0.105 mg/L (22.6 mg/kg 体重/日)	0.105 mg/L (24.8 mg/kg 体重/日)	0.39	0.74	0.39
ジノテフラン	2.08 mg/L (649.7 mg/kg 体重/日)	2.08 mg/L (819.3 mg/kg 体重/日)	11.2	21.2	11.2
フェリムゾン	0.218 mg/L (47.6 mg/kg 体重/日)	0.218 mg/L (50.7 mg/kg 体重/日)	0.82	1.55	0.82
フサライド	0.21 mg/L (30.2 mg/kg 体重/日)	1.10 mg/L (173 mg/kg 体重/日)	0.52	0.98	0.52
MEP (フェニトロチオン)	0.004 mg/L (0.740 mg/kg 体重/日)	0.004 mg/L (1.10 mg/kg 体重/日)	0.01	0.02	0.01
DEP (トリクロルホン)	0.03 mg/L (4.24 mg/kg 体重/日)	0.1 mg/L (20.7 mg/kg 体重/日)	0.07	0.14	0.07

表4 吸入毒性試験対象農薬の親動物及び児動物における毒性（無毒性量）の比較

農薬成分名	供試動物	試験名	無毒性量		出典
			親動物	児動物/胎児	
エトフェンプロックス	ラット	2世代繁殖試験	雄 700 ppm 雌 100 ppm P雄：49.9 mg/kg 体重/日 P雌：8.1 mg/kg 体重/日 F <sub>1</sub> 雄：58.3 mg/kg 体重/日 F <sub>1</sub> 雌：9.1 mg/kg 体重/日	100 ppm P雄：7.1 mg/kg 体重/日 P雌：8.1 mg/kg 体重/日 F <sub>1</sub> 雄：8.4 mg/kg 体重/日 F <sub>1</sub> 雌：9.1 mg/kg 体重/日	農業評価書 (2009年11月)
	ラット	発生毒性試験	250 mg/kg 体重/日	5,000 mg/kg 体重/日	
	ウサギ	発生毒性試験①	10 mg/kg 体重/日	50 mg/kg 体重/日	
	ウサギ	発生毒性試験②	100 mg/kg 体重/日	100 mg/kg 体重/日	
	ラット	発達神経毒性試験	700 ppm 79.2 mg/kg 体重/日	700 ppm 79.2 mg/kg 体重/日	
	ラット	受精能及び繁殖に対する影響試験	250 mg/kg 体重/日	5,000 mg/kg 体重/日	
	ラット	児動物の成熟に対する影響試験	250 mg/kg 体重/日	250 mg/kg 体重/日	
クロチアニジン	ラット	2世代繁殖試験	150 ppm P雄：9.8 mg/kg 体重/日 P雌：11.5 mg/kg 体重/日	150 ppm F <sub>1</sub> 雄：10.7 mg/kg 体重/日 F <sub>1</sub> 雌：12.2 mg/kg 体重/日	農業評価書 (2012年3月)
	ラット	発生毒性試験	10 mg/kg 体重/日	125 mg/kg 体重/日	
	ウサギ	発生毒性試験	25 mg/kg 体重/日	25 mg/kg 体重/日	
	ラット	発達神経毒性試験	500 mg/kg 体重/日	150 mg/kg 体重/日	
	ラット	発達免疫毒性試験	500 mg/kg 体重/日	150 mg/kg 体重/日	
ジノテフラン	ラット	2世代繁殖試験①	2,000 ppm P雄：164 mg/kg 体重/日 P雌：190 mg/kg 体重/日	2,000 ppm F <sub>1</sub> 雄：210 mg/kg 体重/日 F <sub>1</sub> 雌：220 mg/kg 体重/日	農業・動物医薬品 評価書 (2012年10月)
	ラット	2世代繁殖試験②	2,000 ppm P雄：147 mg/kg 体重/日 P雌：180 mg/kg 体重/日	2,000 ppm F <sub>1</sub> 雄：198 mg/kg 体重/日 F <sub>1</sub> 雌：211 mg/kg 体重/日	
	ラット	2世代繁殖試験③	3,000 ppm P雄：241 mg/kg 体重/日 P雌：268 mg/kg 体重/日	3,000 ppm F <sub>1</sub> 雄：269 mg/kg 体重/日 F <sub>1</sub> 雌：293 mg/kg 体重/日	
	ラット	発生毒性試験	300 mg/kg 体重/日	1,000 mg/kg 体重/日	
	ウサギ	発生毒性試験	52 mg/kg 体重/日	300 mg/kg 体重/日	
フェリムゾン	ラット	2世代繁殖試験	600 ppm P雄：45.0 mg/kg 体重/日 P雌：55.5 mg/kg 体重/日 F <sub>1</sub> 雄：62.9 mg/kg 体重/日 F <sub>1</sub> 雌：66.9 mg/kg 体重/日	200 ppm P雄：15.1 mg/kg 体重/日 P雌：19.3 mg/kg 体重/日 F <sub>1</sub> 雄：19.7 mg/kg 体重/日 F <sub>1</sub> 雌：21.1 mg/kg 体重/日	農業評価書 (2008年11月)
	ラット	発生毒性試験	18 mg/kg 体重/日	54 mg/kg 体重/日	
	ウサギ	発生毒性試験	25 mg/kg 体重/日	8 mg/kg 体重/日	
	ラット	発生毒性試験 (代謝物 B)	3 mg/kg 体重/日	3 mg/kg 体重/日	
フサライド	ラット	繁殖毒性	10,000 ppm	10,000 ppm	日本農薬学会誌 15, 311-314 (1990)
	ラット	催奇形性試験	10,000 ppm	10,000 ppm	
	ウサギ	催奇形性試験	1000 mg/kg 体重/日	1000 mg/kg 体重/日	
	マウス	慢性毒性試験	100 ppm 雄：14 mg/kg 体重/日, 雌：15 mg/kg 体重/日	100 ppm 雄：13 mg/kg 体重/日, 雌：14 mg/kg 体重/日	
MEP (フェニトロチオン)	ラット	3世代繁殖試験	30 ppm	30 ppm	日本農薬学会誌 13, 401-405 (1988)
	ラット	催奇形性試験	8 mg/kg 体重/日	25 mg/kg 体重/日	
	ウサギ	催奇形性試験	10 mg/kg 体重/日	30 mg/kg 体重/日	
DEP (トリクロロホン)	ラット	繁殖試験	300 ppm	300 ppm	厚生労働省薬事・食 品衛生分科会残留 農薬調査会資料 (平成15年)
	ラット	催奇形性試験	30 mg/kg 体重/日	100 mg/kg 体重/日	
	ウサギ	催奇形性試験	15mg/kg 体重/日	45 mg/kg 体重/日	

## 第4章 無人ヘリコプター散布農薬に係る大気ばく露評価

無人ヘリコプターにより散布された農薬について大気経由のばく露を評価するため、大気ばく露評価シミュレーションモデルを開発し、その結果を用いてばく露評価を行うこととした。この章では、大気ばく露評価シミュレーションに基づいて行った無人ヘリコプター散布農薬に係る大気ばく露評価について記述している。

### 1. 大気ばく露評価シミュレーションモデル

無人ヘリコプターにより散布された農薬について、大気経由のばく露を評価する際に、実測による評価は、多大な労力と経費が必要である上、立地条件、気象条件や農薬の種類によって、モニタリングデータが大きくばらつき適切なばく露評価ができなくなることが懸念される。このため、シミュレーションモデルを利用し、大気ばく露評価の一般化を図ることとする。

具体的には、大気ばく露評価シミュレーションは、粒子状とガス状の農薬に分けて評価を行う。それぞれ次の既存のモデルを利用し、これを組み合わせて総合的に評価を行うこととする。

#### ○粒子状物質（スプレードリフト）

- ・ AgDRIFT (SPRAY DRIFT TASK FORCE)

#### ○ガス状物質（ペーパードリフト）

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

### 2. 環境モデルと標準シナリオ

シミュレーションモデルの前提条件として、無人ヘリコプターによる農薬散布における標準的な立地の条件を環境モデルとして設定する。また、無人ヘリコプター散布時の気象条件や散布条件、作物への付着率等を標準シナリオとして設定することとする。なお、これらの設定に当たっては、安全サイドに立って、現実的な範囲でワーストケースとなるように設定する。

#### (1) 環境モデル

環境中の化学物質の飛散動態調査において、ヒトの吸入ばく露を考慮した場合は、評価対象高度を 1.5m とすると、その 100 倍以上風上側に均一な条件（fetch:吹走距離）で広がっていれば、一般的にそれ以遠の影響を無視することができる<sup>(※出典6)</sup>。また、風向きについては、一方向から風が吹き、評価対象エリアに空気が滞留するケースが気中濃度がワーストケースとなることから、風向きを北からの一方向に固定し、風下の南側の評価エリアにおいてばく露評価を行うこととし、シミュレーションモデルによる評価対象水田ほ場の規模を東西 210m、南北 200m と設定した。なお、地表面の起伏はないものと仮定する。

---

※出典：出典は以下のとおり

6) M. Y. Leclerc and G. W. Thurtell

“Footprint prediction of scalar fluxes using a Markovian analysis”  
Boundary-Layer Meteorology.52,1990,247-258

(2) 標準シナリオ

ア 散布（無人ヘリコプター）条件

大気ばく露評価シミュレーションに係る無人ヘリコプターの機体等に係る条件を表5のとおり設定した。

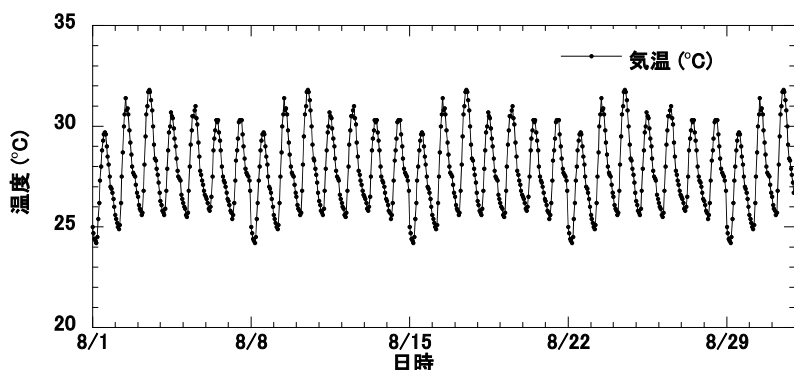
表5：無人ヘリコプター機体等に係る標準シナリオ

設定条件	データ	根拠等
無人ヘリ・メインローター直径	3,130mm	主要機種である R-MAX 型仕様(ヤマハ発動機株式会社カタログより)  ・シェアを考慮し、以下の機体等を選択 機体：R-MAX 散布装置：L17A 標準仕様 仕様ノズルの型番：TXVS-8
無人ヘリ・全長/ローター含む全長	2,750mm/3,630mm	
無人ヘリ・全高	1,080mm	
無人ヘリ・最大離陸重量	93kg	
薬剤最大積載量	24kg	
散布装置	L17A 標準仕様	
仕様ノズルの型番	TXVS-8	
ノズル噴霧圧	0.44MPa (定圧散布のための規定値)	
ノズル間隔	1,340mm	
ノズルの個数	4 個 (定圧散布のための規定値)	
メインローターに比較したノズルの設置幅	42.8% (メインローター直径/ノズル間隔×100)	
農薬の散布粒子 $Dv0.5$ (この数値以下の粒子が全体の体積の50%を占める)	114 $\mu\text{m}$	平成22年度農薬の大気経路による影響評価事業(基礎調査業務)の結果、無人ヘリコプターの噴霧条件では、主要な噴霧粒子径は農薬製剤の種類と薬液の希釈倍率にはほとんど依存せず、ほぼ純水と同等であることが分かった。従って、純水の粒子径を用いる。
農薬の散布粒子 VMD (体積中位径)	114 $\mu\text{m}$	
農薬の散布粒子 R100 (100 $\mu\text{m}$ 以下の粒子が占める体積割合)	36%	
農薬の散布幅	7.5m	R-MAX 型仕様(ヤマハ発動機株式会社カタログより)
農薬散布幅の重なり定義	無	
無人ヘリの散布飛行高度	地上又は作物上 4m	「無人ヘリコプターによる病害虫防除者のための安全対策マニュアル」より
無人ヘリの散布速度	10km/h	

イ 気象条件

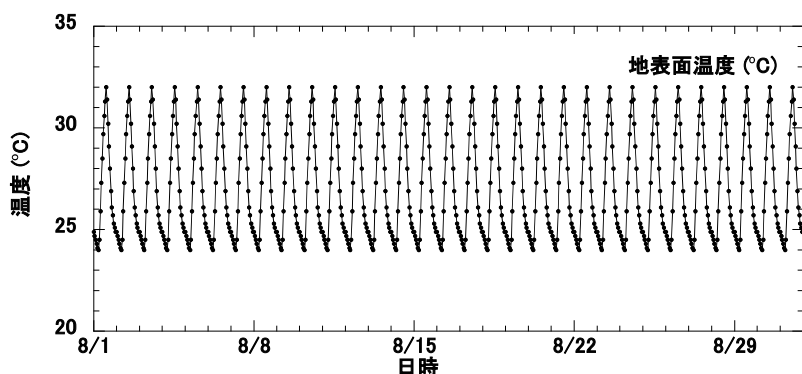
気象条件は、新潟県のデータを採用した。これは、①フサライドのモニタリング調査を行った地域であり、大気ばく露評価シミュレーションの結果とモニタリング調査結果の比較、検証が可能、②無人ヘリコプターによる散布が大規模で行われている地域では、8月の気温が比較的高いため、気中濃度についてワーストケースと想定されるためである。

具体的には、アメダスデータの新潟（平成 14 年から平成 23 年の 10 年間の 8 月の 1 日から 7 日の平均値を繰り返し利用した）を利用し、データの得られない気象要素については昨年度行った実測値を平均して用いることとする（詳細については図 1～6 参照）。



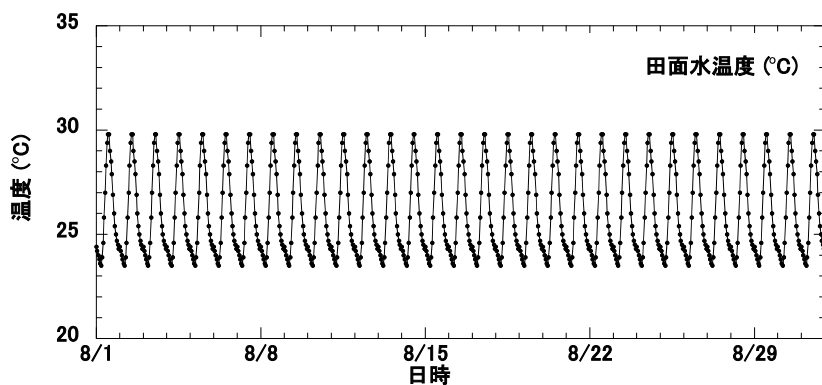
（アメダスデータの新潟を利用。（平均気温：27.8 °C 、最高：31.8 °C 、最低：24.2 °C ））

図 1 新潟における過去 10 年間の平均気温の推移（8 月 1 日から 8 月 7 日の繰り返し）



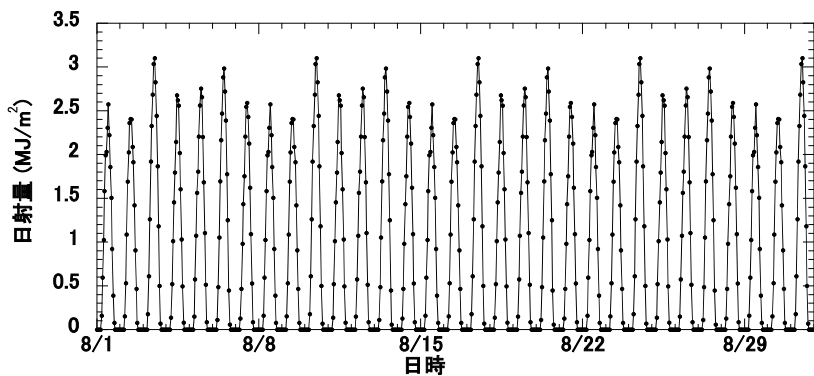
（水田周辺の畦や畑等、作物等のない地表面を想定。フサライドのモニタリング調査（参考資料 8）における、気象観測装置の周辺で測定したデータを利用。（平均地表面温度：27.0 °C 、最高：32.0 °C 、最低：24.0 °C ））

図 2 新潟における裸地ほ場地表面温度（2011 年 8 月 8 日から 9 月 5 日の日内平均の繰り返し）



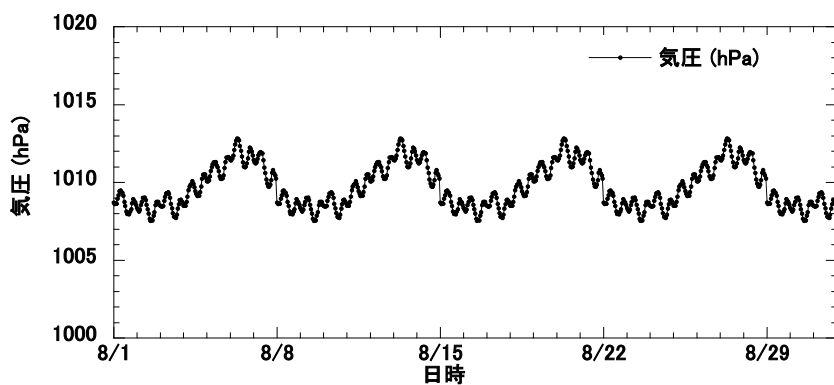
（水田を想定。フサライドのモニタリング調査（参考資料 8）における、気象観測装置の周辺で測定したデータを利用。（平均地表面温度：26.0 °C 、最高：29.8 °C 、最低：23.5 °C ））

図 3 新潟における田面水温度（2011 年 8 月 8 日から 9 月 5 日の日内平均の繰り返し）



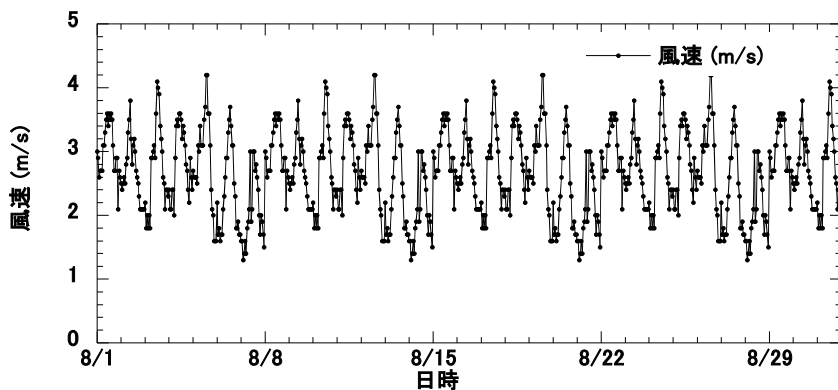
〔アメダスデータの新潟を利用。〕

図4 新潟における過去10年間の平均日射量の推移（8月1日から8月7日の繰り返し）



〔アメダスデータの新潟を利用。（平均気圧：1009.8 hPa、最高：1012.8 hPa、最低：1007.5 hPa）〕

図5 新潟における過去10年間の平均気圧の推移（8月1日から8月7日の繰り返し）



〔アメダスデータの新潟を利用。（平均風速：2.6 m/s、最高：4.2 m/s、最低：1.3 m/s）〕

図6 新潟における過去10年間の平均風速の推移（8月1日から8月7日の繰り返し）

### 3. 大気ばく露評価シミュレーションの結果

2. の環境モデルと標準シナリオに基づき、シミュレーションモデルを用いて風下側における大気ばく露評価シミュレーションを実施した。

無人ヘリコプターによる農薬飛散の実態モニタリングを行ったフサライドとフェニトロチオンについて、モニタリングデータと算出したシミュレーションモデルの結果と比較・検証を実施したところ、シミュレーションにより算出されたデータは、モニタリングで得られた実際の濃度と同等又は上回ったデータが多く（図7～11）、安全側に立つてばく露量を評価することが可能であると考えられた。

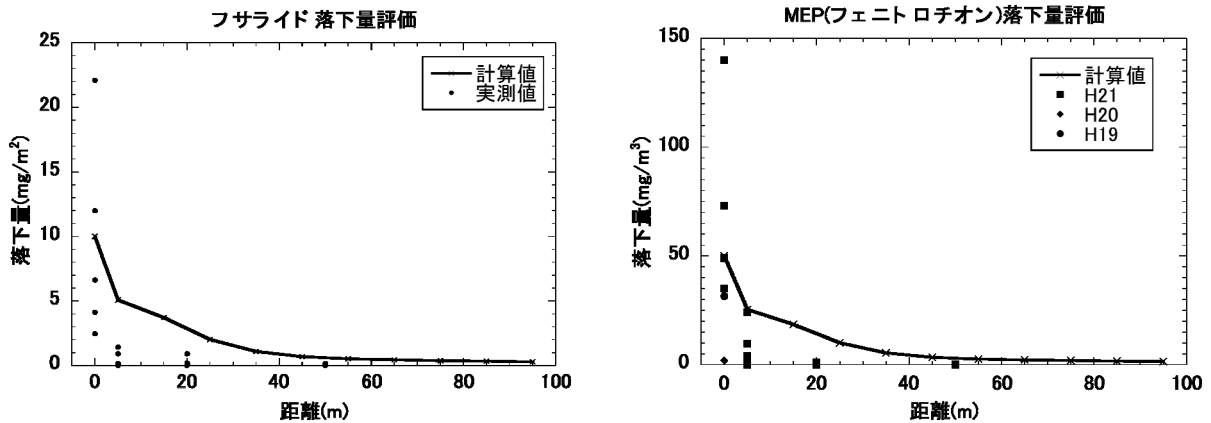


図7 落下量に係るシミュレーション結果とモニタリングデータ（フサライド・MEP）

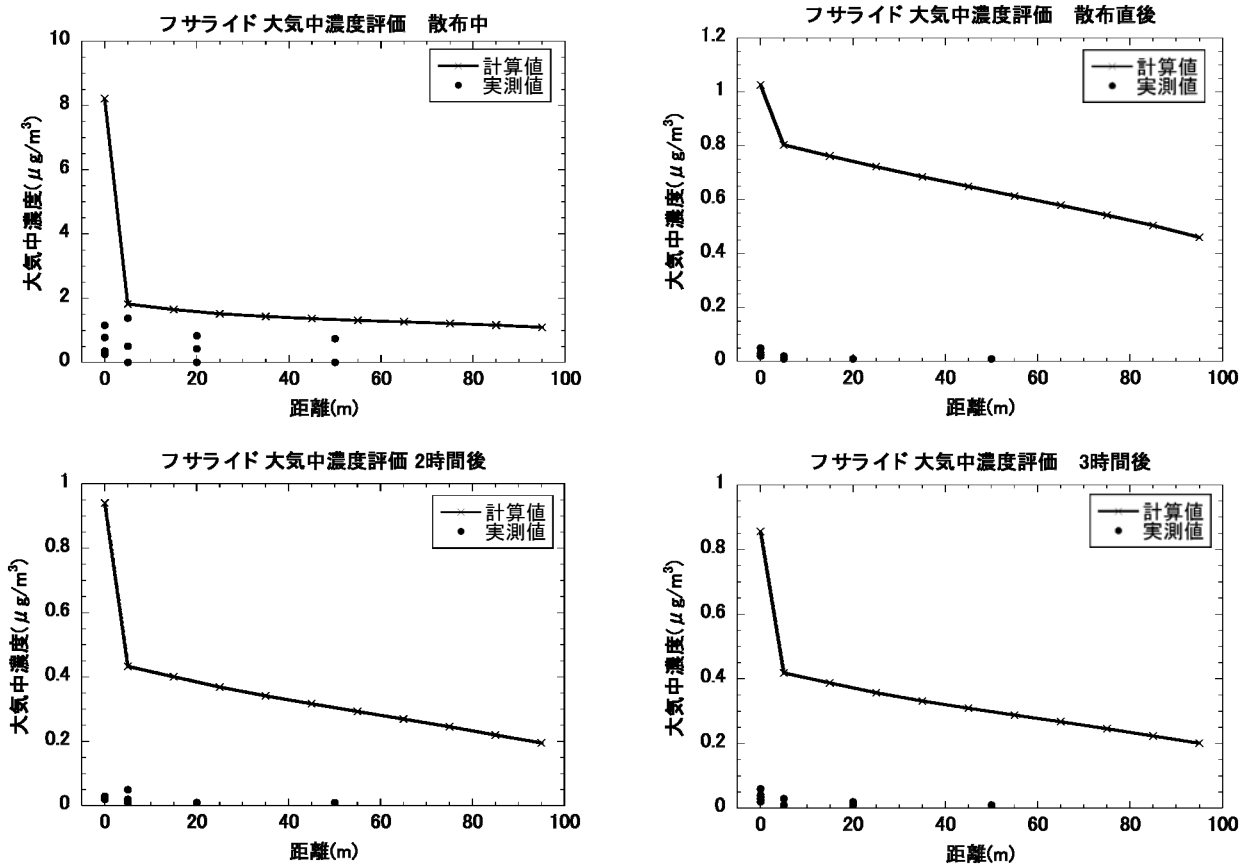


図8 気中濃度に係るシミュレーション結果とモニタリングデータ（フサライド：散布中-3時間後）

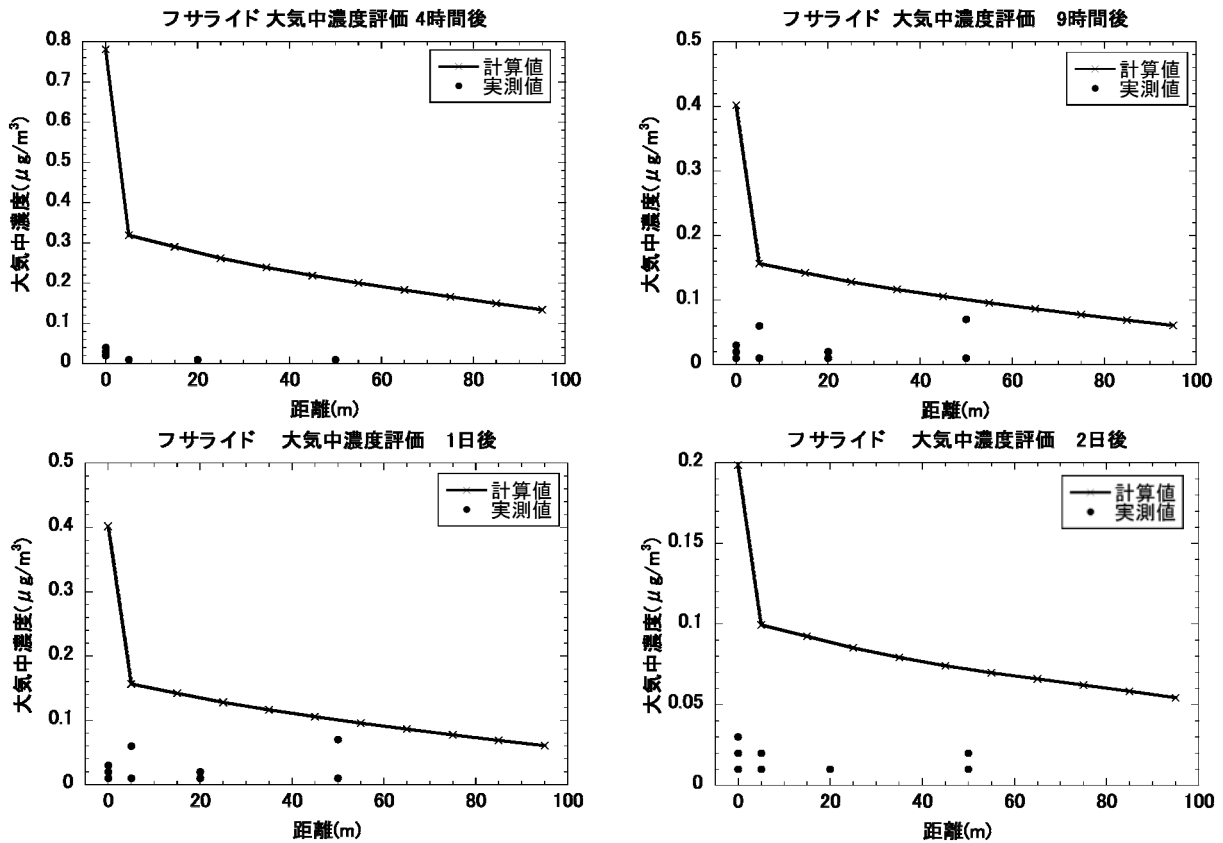


図9 気中濃度に係るシミュレーション結果とモニタリングデータ（フサライド：4時間後-2日後）

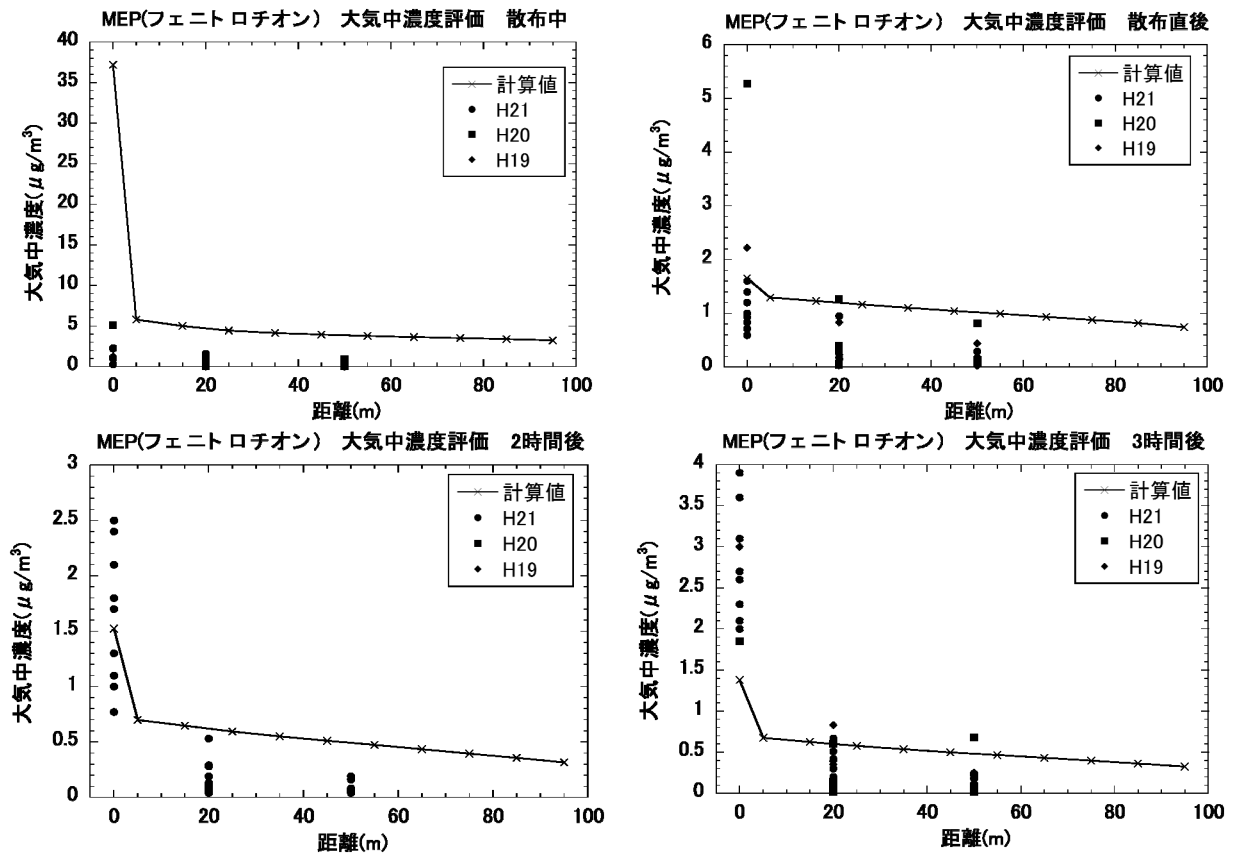


図10 気中濃度に係るシミュレーション結果とモニタリングデータ（MEP：散布中-3時間後）



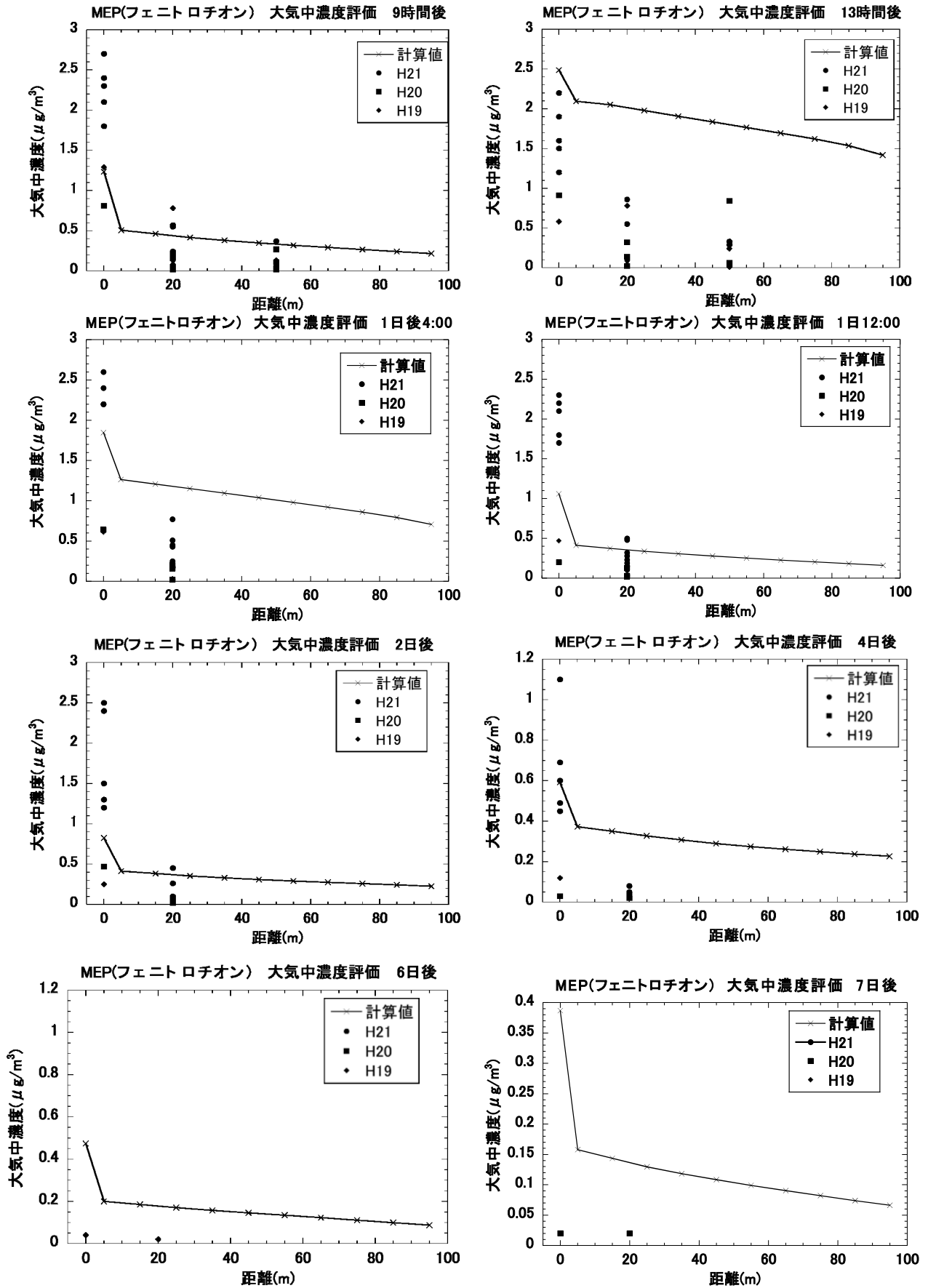


図 11 気中濃度に係るシミュレーション結果とモニタリングデータ (MEP : 9 時間後-7 日後)

そのため、大気ばく露評価シミュレーションを用いて、30 の評価対象農薬について、農薬製剤散布溶液の物理化学性、農薬有効成分の物理化学的性質と環境中における半減期のデータを収集・推計した上で、それらのデータをモデルに適用し、無人ヘリコプターによる農薬散布後 28 日間までの農薬の飛散分布と経時的な推移を試算した（図 12～18、左：28 日間、右：初期）。

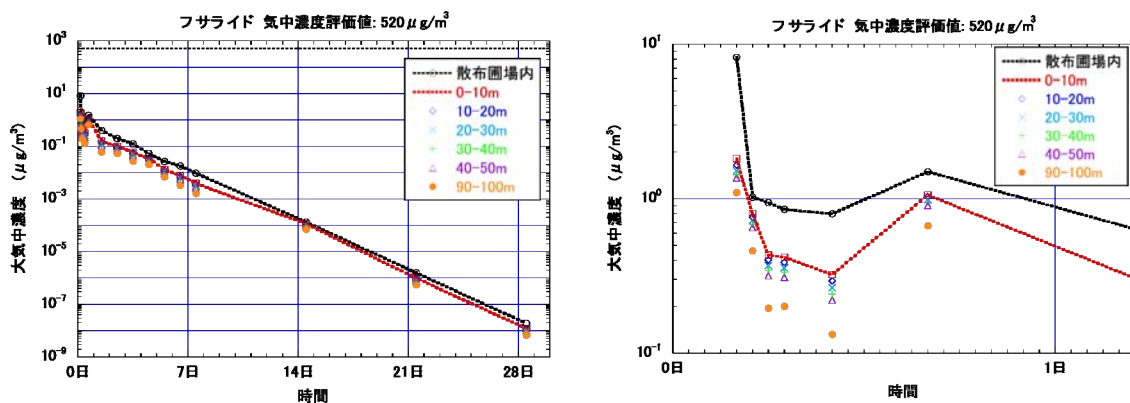


図 12 気中濃度に係るシミュレーション結果（フサライド）

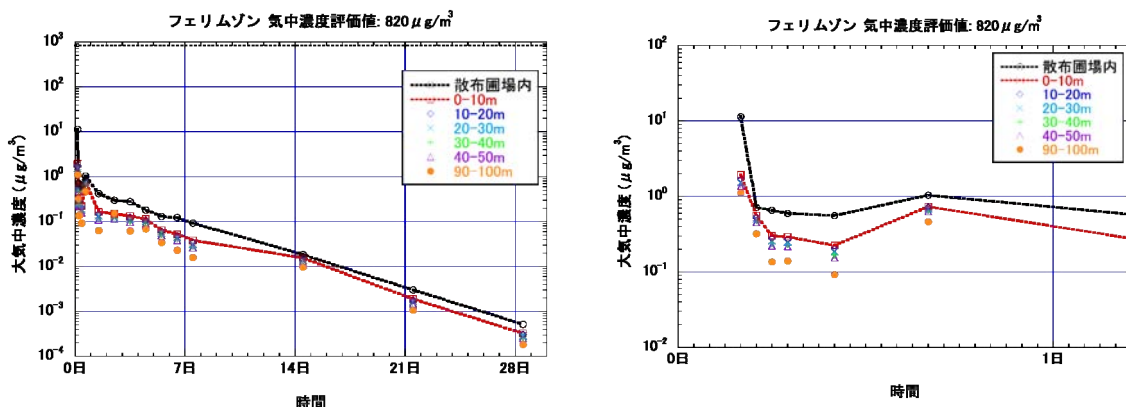


図 13 気中濃度に係るシミュレーション結果（フェリムゾン）

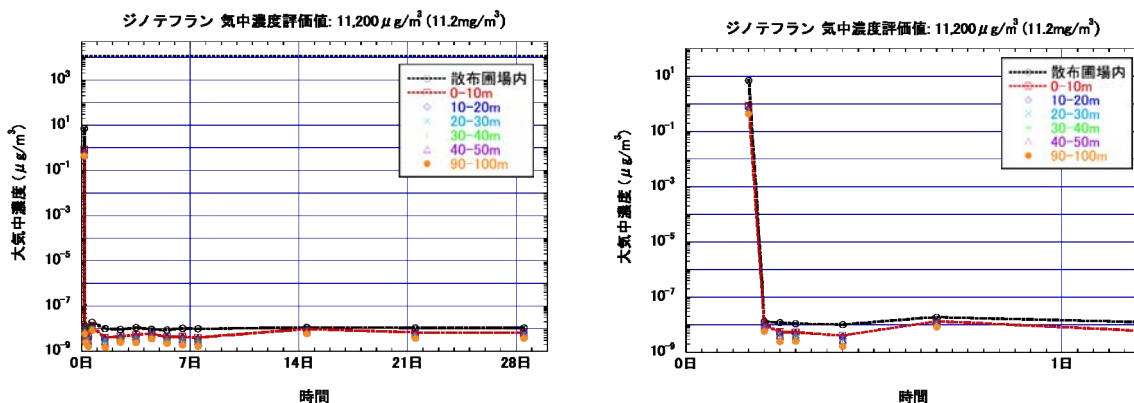


図 14 気中濃度に係るシミュレーション結果（ジノテフラン）

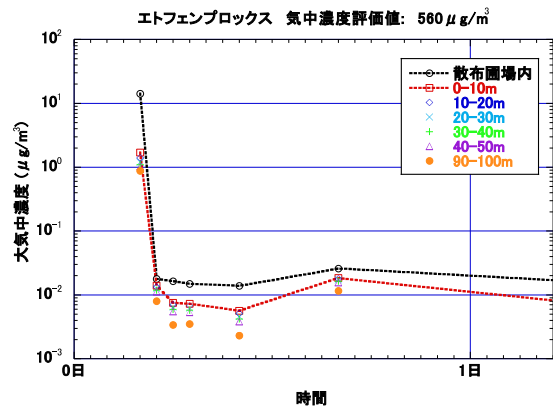
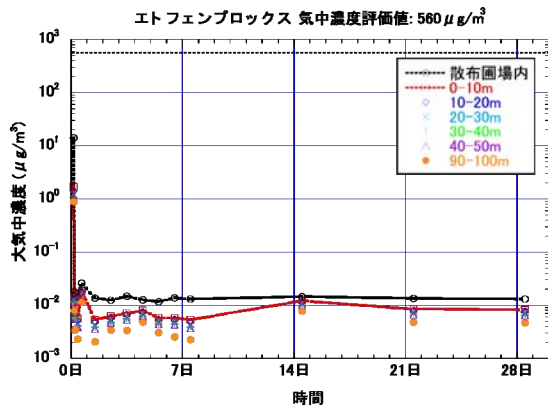


図 15 気中濃度に係るシミュレーション結果 (エトフェンブross)

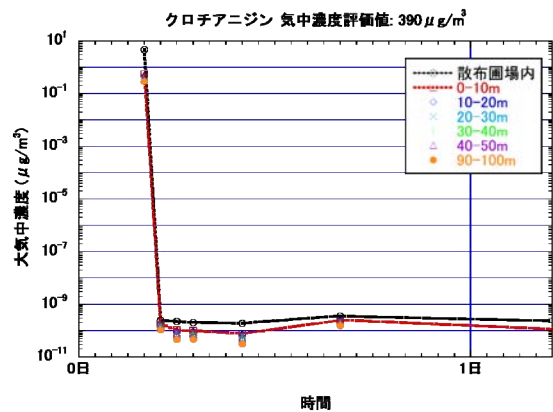
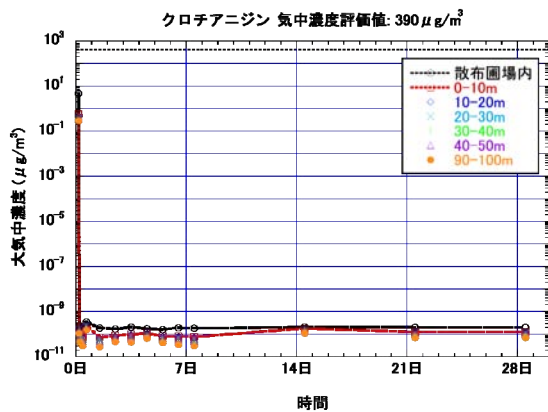


図 16 気中濃度に係るシミュレーション結果 (クロチアニジン)

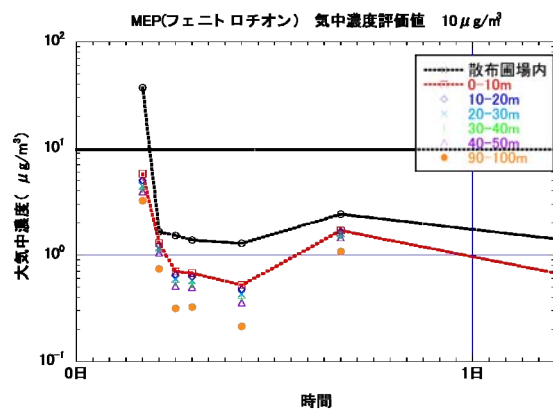
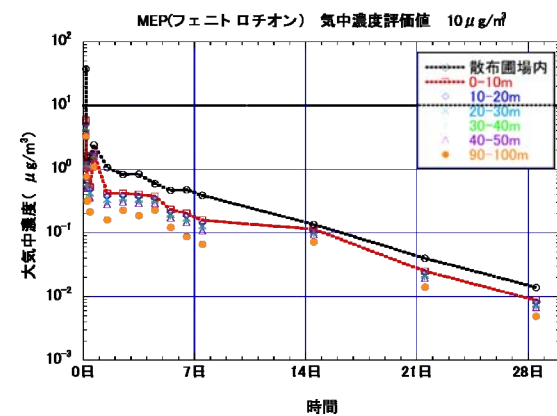


図 17 気中濃度に係るシミュレーション結果 (MEP)

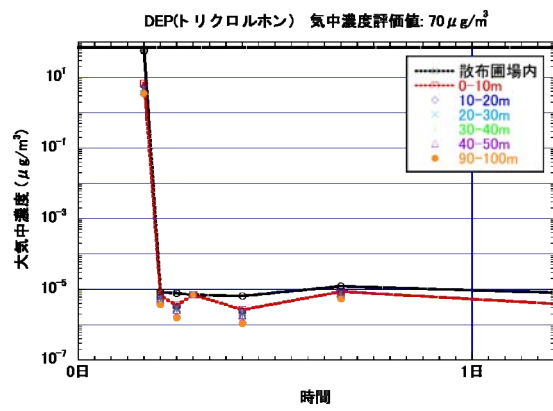
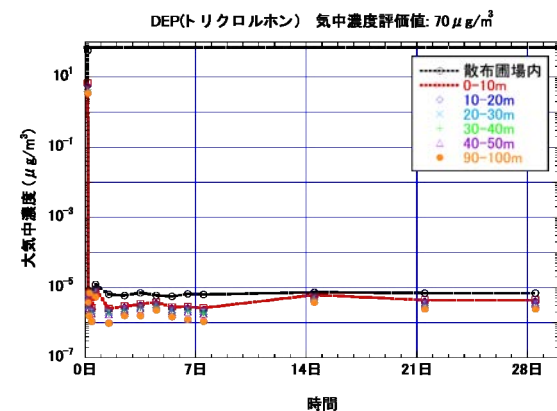


図 18 気中濃度に係るシミュレーション結果 (DEP)

## 第5章 農薬リスク評価

第3章で行った無人ヘリコプター散布農薬に係る毒性評価、第4章で行った無人ヘリコプター散布農薬に係る大気ばく露評価を踏まえ、本章では、経気道ばく露に係る無人ヘリコプター散布による農薬のリスク評価を行うこととする。

### 1. 評価の方法

経気道ばく露については、農薬散布時のミスト及び揮散した農薬成分を吸入することによる平均経気道ばく露濃度と気中濃度評価値を比較して、下記の条件を満たすか評価を行うものとする。

$$\text{平均経気道ばく露濃度} < \text{気中濃度評価値}$$

評価は、亜急性吸入毒性試験に基づき気中濃度評価値を算出した農薬について行う。

平均経気道ばく露濃度は、当該濃度を継続して吸入した場合の亜急性毒性に基づき算出された気中濃度評価値と比較するものであることから、平均とする経気道ばく露の期間については、毒性試験の期間を踏まえて設定することが適切である。一方、農薬の物理化学性状によりその程度は様々であるものの、経気道ばく露については散布初期に高く、急速に減少している。

これらを踏まえ、今回の評価に当たってはより安全側に立って毒性試験期間の約1/10となる3日間の平均を用いることとし、3日間の経気道ばく露濃度の平均が最も高い、散布開始から3日後までの平均濃度を平均経気道ばく露濃度として算出することとする。

### 2. 評価の結果

平均経気道ばく露濃度と気中濃度評価値について表7に示す。

亜急性吸入毒性を得た7剤について評価を行った結果、気中濃度評価値と平均ばく露濃度が最も近接していたのはフェニトロチオンであったが、気中濃度評価値に占める平均ばく露量は、ほ場に接している0-10m地点においても約7.7%にすぎなかった。

(気中濃度評価値  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  に対し、0-10m地点での平均ばく露濃度は  $0.77 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )

気中濃度評価値が設定できない農薬の中で、フェニトロチオンを上回る平均ばく露量が算出されたのは、プロベナゾール ( $3.927 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) のみであるが、これらの平均ばく露量は最も低いフェニトロチオンの気中濃度評価値よりも下回っていた。

フェニトロチオンは、今回シミュレーションを行った剤の中で、ADIはエチプロールと並び最も低く、対象農薬の中で慢性毒性は最も強いと考えられることも踏まえると、経気道ばく露において、リスクが懸念される状況は確認されなかった。

この結果から、経気道ばく露について、新たなリスク管理措置を講じる必要は無いと考えられた。

表6 各農薬の気中濃度評価値と平均経気道ばく露量

	気中濃度評価値	平均経気道ばく露濃度(μg/m <sup>3</sup> )									
		0-10m	10-20m	20-30m	30-40m	40-50m	50-60m	60-70m	70-80m	80-90m	90-100m
フサライド	520 μg/m <sup>3</sup> (割合)	0.348 0.07%	0.330 0.06%	0.309 0.06%	0.291 0.06%	0.274 0.05%	0.258 0.05%	0.243 0.05%	0.228 0.04%	0.211 0.04%	0.193 0.04%
トリシクラゾール		0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001
フェリムゾン	820 μg/m <sup>3</sup> (割合)	0.297 0.04%	0.279 0.03%	0.260 0.03%	0.243 0.03%	0.229 0.03%	0.216 0.03%	0.203 0.02%	0.190 0.02%	0.176 0.02%	0.184 0.02%
カスガマイシン		0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
アゾキシストロビン		0.009	0.008	0.007	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
バリダマイシンA		0.006	0.005	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
フルトラニル		0.024	0.020	0.017	0.015	0.014	0.014	0.013	0.013	0.013	0.012
ペンシクロン		0.023	0.019	0.016	0.015	0.014	0.014	0.013	0.013	0.012	0.012
ジクロメット		0.006	0.005	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
ジクロメジン <sup>*</sup>		0.024	0.019	0.017	0.015	0.014	0.014	0.013	0.013	0.012	0.012
プロベナゾール		3.927	3.721	3.480	3.267	3.072	2.888	2.712	2.535	2.347	2.142
メプロニル		0.047	0.039	0.033	0.030	0.029	0.027	0.026	0.026	0.025	0.024
ピロキロン		0.065	0.061	0.057	0.053	0.050	0.047	0.044	0.041	0.038	0.035
フェノキサニル		0.006	0.005	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
チオファネートメチル		0.047	0.038	0.033	0.030	0.028	0.027	0.026	0.025	0.025	0.024
メミノストロビン		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
イソプロチオラン		0.047	0.039	0.033	0.030	0.029	0.028	0.027	0.026	0.025	0.024
シメコナゾール		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ジノテフラン	11200 μg/m <sup>3</sup> (割合)	0.012 0.00%	0.010 0.00%	0.008 0.00%	0.007 0.00%	0.007 0.00%	0.007 0.00%	0.007 0.00%	0.006 0.00%	0.006 0.00%	0.006 0.00%
エトフェンブロックス	590 μg/m <sup>3</sup> (割合)	0.032 0.01%	0.027 0.00%	0.024 0.00%	0.022 0.00%	0.020 0.00%	0.020 0.00%	0.019 0.00%	0.018 0.00%	0.017 0.00%	0.016 0.00%
エチプロール		0.012	0.010	0.008	0.007	0.007	0.007	0.007	0.006	0.006	0.006
クロチアニジン	390 μg/m <sup>3</sup> (割合)	0.008 0.00%	0.006 0.00%	0.005 0.00%	0.005 0.00%	0.005 0.00%	0.005 0.00%	0.004 0.00%	0.004 0.00%	0.004 0.00%	0.004 0.00%
シラフルオフェン		0.333	0.316	0.295	0.278	0.262	0.247	0.233	0.218	0.202	0.185
ブプロフェジン		0.027	0.022	0.019	0.018	0.017	0.016	0.015	0.015	0.014	0.014
テブフェノジド		0.012	0.010	0.008	0.008	0.007	0.007	0.007	0.006	0.006	0.006
MEP(フェニトロチオン)	10 μg/m <sup>3</sup> (割合)	0.768 7.68%	0.719 7.19%	0.668 6.68%	0.625 6.25%	0.587 5.87%	0.553 5.53%	0.520 5.20%	0.487 4.87%	0.452 4.52%	0.415 4.15%
チアトキサム		0.008	0.006	0.005	0.005	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
クロマフェノジド		0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
BPMC(フェノピカルブ)		0.071	0.063	0.057	0.053	0.049	0.047	0.044	0.042	0.040	0.037
DEP(トリクロルホン) <sup>*</sup>	70 μg/m <sup>3</sup> (割合)	0.094 0.13%	0.077 0.11%	0.066 0.09%	0.060 0.09%	0.057 0.08%	0.054 0.08%	0.052 0.07%	0.051 0.07%	0.049 0.07%	0.048 0.07%

※:ジクロメジンは平成23年3月31日に農薬登録が失効、DEP(トリクロルホン)は平成25年2月27日に無人ヘリコプター散布に係る適用が削除

## 第6章 今後の課題

前章まで現時点での科学的知見を踏まえ、経気道ばく露については、毒性評価及びばく露評価を実施し、これに基づくリスク評価を行った。また、経皮ばく露については、ばく露評価を行ったところである。

今後、本事業については、経皮ばく露に係る毒性評価を実施した上でそれを踏まえたリスク評価を実施するとともに、必要に応じてリスク管理措置を検討することとする。なお、今後の課題として次のものがある。

### 1. 経皮によるばく露の毒性評価

無人ヘリコプター散布農薬の経皮によるばく露の実態を踏まえ、気中濃度評価値と同様、亜急性毒性試験から評価を行うことについて検討する必要がある。具体的には、食品健康影響評価の各種試験の毒性評価を活用しつつ亜急性経口毒性試験から、経皮によるばく露の毒性評価を算定する手法について検討する必要がある。

### 2. ばく露評価結果の検証

今回の評価に当たっては、大気ばく露評価シミュレーションを用いてばく露量を算出して評価を行っている。シミュレーションモデルは、現実的なワーストケースを想定し、また、これまでに得られているモニタリングデータと比較・検証を行い、十分に実際のばく露量を反映していることを確認しているが、立地条件や気象条件等により変動が生じることも考えられる。

そのため、本評価で用いた大気ばく露評価シミュレーションが、実際の農薬散布場面を的確に評価できているかについて、さらにモニタリングによりデータを収集し、シミュレーションモデルの信頼性について検証を行う必要がある。

### 3. 亜急性吸入毒性試験の充実

亜急性吸入毒性試験については、既存の試験がほぼ行われていないことから、本事業において試験を実施し評価に活用してきたところである。今回の評価に当たっては、7剤の亜急性毒性試験等に基づき気中濃度評価値を設定したところである。

今後、その他の農薬に係る気中濃度評価値をさらに得るため、引き続き亜急性毒性試験に係る情報を収集し、必要に応じて評価の見直し、反映等を図る必要がある。

### 4. 新たな科学的知見に基づく評価の見直し

本評価は、現在得られている科学的知見に基づいて評価を実施している。今後、新たな科学的知見が得られ、ばく露実態等と合致した精緻な毒性評価を行うことが可能になった場合には、必要に応じてリスク評価やリスク管理措置を見直す必要がある。

### 5. 大気ばく露評価シミュレーションの農薬開発企業等での活用

新たな農薬の開発、栽培される作物や病害虫の変遷、農薬の散布形態の変化等に応じ、使用される農薬は変遷する。今回のリスク評価に当たっては、平成21年度から23年度に無人ヘリコプター防除（水稻）における農薬使用実績を踏まえ、30の農薬について評価を行ったが、今後新たに開発・使用される農薬についても、リスクを確認し、適切に使用していくことが必要である。

そのため、農薬の開発段階において、無人ヘリコプターによる農薬散布に由来する大気経由のリス

クを農薬開発企業や無人ヘリコプター製造企業自らが評価できるよう、今回評価に用いたシミュレーションモデルや評価の仕組みについては、マニュアル化し、関係機関に普及することが望まれる。

**(参考資料)**

- 1 : 無人ヘリコプターによる病虫害防除における安全確保のための取組  
(平成 22 年度第 1 回飛散リスク評価検討会資料を修正)
- 2 : 各農薬の毒性評価書  
(平成 24 年度第 2 回農薬吸入毒性評価部会参考資料)
- 3 : 無人ヘリコプター散布での農薬飛散ばく露評価 (平成 24 年度第 2 回飛散リスク評価検討会資料)
- 4 : 農薬の物理化学的性状測定結果 (平成 23 年度第 1 回飛散リスク評価検討会資料)
- 5 : 農薬の粒径分布測定結果 (平成 23 年度第 1 回飛散リスク評価検討会資料)
- 6 : 農薬飛散モニタリング調査結果 (平成 23 年度第 2 回飛散リスク評価検討会資料)
- 7 : 農薬飛散リスク評価手法確立調査(企画業務)報告書(抜粋)  
(平成22年3月財団法人残留農薬研究所)
- 8 ; 航空防除農薬環境評価検討会報告書 (平成 9 年 12 月環境庁水質保全局)