

環境省請負業務報告書

農薬の大気経由による影響評価事業
(企画支援業務)

農薬の大気経由による飛散リスク評価・管理対策
最終報告書

－無人ヘリコプター散布農薬の住民に対する
リスク評価及びリスク管理－

平成 30 年 3 月

一般財団法人残留農薬研究所

目 次

第1章 はじめに	1
1. 本報告書の背景及び目的	1
2. 無人ヘリコプターによる農薬散布の現状	1
(1) 無人ヘリコプターによる農薬散布の状況	1
(2) 無人ヘリコプター使用に係る法令及び指導指針等	4
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	11
1. 評価対象者	11
2. 評価の対象とするばく露経路	11
3. ばく露量を推定する地点及び時間	11
(1) 距離（ばく露濃度を推定する地点）	11
(2) 時間（ばく露濃度を推定する時間）	12
4. 評価対象農薬	12
第3章 無人ヘリコプター散布農薬に係る毒性評価	14
1. 毒性評価値算出の考え方	14
2. 経気道によるばく露の毒性評価値のまとめ	16
第4章 無人ヘリコプター散布農薬に係る大気経路ばく露評価	20
1. 大気経路ばく露評価シミュレーションモデル	20
2. 環境モデルと標準シナリオ	21
(1) 環境モデル	21
(2) 標準シナリオ	21
3. 大気経路ばく露評価シミュレーションの結果	25
4. 大気経路ばく露評価シミュレーションの結果の 信頼性の確認（フェリムゾン）	32
(1) 大気経路ばく露評価シミュレーションモデルの検証方法	32
(2) シミュレーション評価に用いた気象条件	32
(3) 田面水や地表面からの大気への移行速度 （農薬の揮散フラックス）の算出	33
(4) 落下量分布の計算値とモニタリング値との比較	34

(5) 気中濃度分布の計算値と実測値との比較	
(散布 1 日後 13:00～14:00) -----	35
(6) 大気経路ばく露評価シミュレーションモデルの検証結果 -----	38
5. 高次評価のためのシミュレーションモデルの検討 (フェリムゾン) --	38
第 5 章 農薬リスク評価・リスク管理 -----	41
1. リスク評価の方法 -----	41
(1) 評価地点 -----	42
(2) 評価時間 -----	42
2. リスク評価及びリスク管理 -----	42
(1) リスク評価 -----	42
(2) リスク管理措置の検討 -----	45
第 6 章 まとめ -----	46

第1章 はじめに

1. 本報告書の背景及び目的

農薬が人の健康に与える影響については、現在、食品や水経由の摂取を考慮した消費者の安全性の確保の観点からリスク評価が行われている。また、農薬使用者に対する安全性の確保等の観点から、農薬成分の急性毒性試験等を基に、毒性や刺激性等に応じた防護装備等の必要性について、使用上の注意事項が定められ、管理措置が講じられている。一方、大気を経由した農薬ばく露については、水稻病虫害防除の手段の一つである航空防除後に大気中から農薬が検出される事例が報告され¹⁾、航空防除による健康影響について散布地周辺の住民の関心が高まった。

このため、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で使用実績の多い農薬を対象に気中濃度評価値を設定した²⁾。しかし、近年は無人ヘリコプターによる散布が航空防除の主流となり、無人ヘリコプター防除に使用可能な登録農薬数も増加するなど、当時に比べ、散布形態、農薬の種類等が変化してきている。また、農薬の大気経由のリスク評価についても知見が集積されてきており、既に設定された気中濃度評価値の見直しが求められている。

このような状況を踏まえ、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由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及び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量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を提案することとした。

本検討は平成22年度から開始し、平成25年3月には、無人ヘリコプターによる農薬散布の大半を占める水稻に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、「農薬の大気経由による飛散リスク評価・管理対策 中間報告書」³⁾として取りまとめ、公表した。

本報告書は、その後、平成29年度までに実施した経気道によるばく露に係るリスク評価及びリスク管理措置の検討結果を、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、病虫害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虫害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28年度には全国約105万haで実施されている。表1-1に平成22～28年度の実施状況を示す。内訳としては水稻が散布の9割近くを占め、次いで麦類、大豆と続き、それぞれで約6%となっている。平成22～28年度の変化を見ると、平成22年度には、96万haであったものが、ここ数年は105万ha程度で推移している。近年、無人航空機の一つであるマルチローター（ドローン）の利用が注目されているが、操縦性や飛行によって生ずる下降気流（ダウンウォッシュ）が無人ヘリコプターとは異なることから、マルチローターによる農薬散布には無人ヘリコプター散布とは異なる飛行方法、飛行基準が定められている。なお、平成28年度の実績では684haと全体の0.05%程度に留まっている。

無人ヘリコプター用農薬の登録状況は、平成30年3月現在で254農薬であり、作物別には、水稻（209）、麦類（12）、大豆（27）、農薬の種類別には、殺虫剤（38）、殺菌剤（60）、殺虫殺菌剤（30）、除草剤（122）等となっている^{注)}。

注) 有効成分・成分量・剤型・適用が同じ農薬は1農薬として集計した。

出典：農薬インデックス／産業用無人航空機用農薬サイト（一般社団法人農林水産航空協会 <http://mujin-heri.jp/index11.html>）最終アクセス：平成30年3月9日

表 1-1 無人ヘリコプターによる農薬散布等の実施状況（単位：ha）

	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28
水稻防除	838,156	851,822	884,308	931,095	928,786	923,365	910,927
麦類防除	60,730	61,351	63,626	57,152	60,954	70,989	65,932
大豆防除	57,905	51,409	52,906	52,258	52,748	58,059	59,118
その他	6,459	6,556	6,202	6,779	7,348	7,565	10,729
合計	963,250	971,138	1,007,042	1,047,284	1,049,836	1,057,978	1,046,706

注）平成 28 年度はマルチローター（684 ha）を含む。

表 1-2 に平成 28 年度の無人ヘリコプター防除（水稻）における農薬の使用実績の全国平均を示す。

表 1-2 無人ヘリコプター防除（水稻）における農薬の使用面積（平成 28 年度全国）

		農薬成分名	系統名	使用面積 (千 ha)
殺菌剤	1	トリシクラゾール	メラニン生合成阻害剤	266
	2	フサライド	メラニン生合成阻害剤	218
	3	フェリムゾン	その他の合成抗菌剤	150
	4	バリダマイシン	抗生物質殺菌剤	125
	5	カスガマイシン	抗生物質殺菌剤	102
	6	アゾキシストロビン	メトキシアクリレート系殺菌剤	95
	7	チオファネートメチル	ベンゾイミダゾール系殺菌剤	70
	8	フルトラニル	酸アミド系殺菌剤	65
	9	ペンシクロン	尿素系殺菌剤	21
	10	テブコナゾール	ステロール生合成阻害剤	13
	11	イミベンコナゾール	ステロール生合成阻害剤	10
	12	テブフロキン	その他の合成殺菌剤	9
	13	プロベナゾール	その他の合成抗菌剤	9
	14	イミノクタジン酢酸塩	その他の合成殺菌剤	7
	15	プロピコナゾール	ステロール生合成阻害剤	6
	16	イソプロチオラン	その他の合成殺菌剤	5
	17	イミノクタジンアルベシル酸塩	その他の合成殺菌剤	3
	18	ピロキロン	メラニン生合成阻害剤	2
	19	テトラコナゾール	ステロール生合成阻害剤	2
	20	メトコナゾール	ステロール生合成阻害剤	2
	21	シアゾファミド	その他の合成殺菌剤	2
殺虫剤	1	ジノテフラン	ネオニコチノイド系殺虫剤	445
	2	エチプロール	フェニルピラゾール系殺虫剤	170
	3	エトフェンプロックス	ピレスロイド系殺虫剤	161
	4	シラフルオフエン	ピレスロイド系殺虫剤	55
	5	ブプロフェジン	昆虫成長制御剤	53
	6	クロチアニジン	ネオニコチノイド系殺虫剤	50
	7	テブフェノジド	昆虫成長制御剤	31
	8	チアメトキサム	ネオニコチノイド系殺虫剤	23
	9	クロラントラニリプロール	ジアミド系殺虫剤	20
	10	フェニトロチオン	有機リン系殺虫剤	10
	11	ペルメトリン	ピレスロイド系殺虫剤	4
	12	クロマフェノジド	昆虫成長制御剤	3
	13	ピリダリル	その他の合成殺虫剤	2
	14	アセタミプリド	ネオニコチノイド系殺虫剤	2
	15	フルベンジアミド	ジアミド系殺虫剤	2

（注） 2 千ヘクタール以上の使用があるものを記載した。

このほか、殺菌剤で本事業での評価対象としたものの使用面積としては、以下のとおり。

殺菌剤：メプロニル（1.5 千 ha）、フェノキサニル（0.5 千 ha）

殺虫剤：フェノブカルブ（0.03 千 ha）

出典：農林水産省植物防疫課調べ

(2) 無人ヘリコプター使用に係る法令及び指導指針等

無人ヘリコプターによる航空防除については、「無人ヘリコプター利用技術指導指針」（平成 3 年農林水産省農蚕園芸局長通知）により空中散布等の実施に当たって、人畜、農作物、周辺環境等に対する安全性を確保し、適正に実施するために遵守すべき事項等を定め、指導が行われてきたところである。

他方、近年の無人航空機（無人ヘリコプター、マルチローター（いわゆるドローン）等）が急速に普及したことに伴い、様々な分野で活用され、新たな産業・サービスの創出や国民生活の利便や質の向上に資することが期待されているが、落下事案が発生するなど、安全面における懸念が高まりつつあることから、平成 27 年 9 月に航空法が改正され、無人航空機の飛行の方法等が法令で定められた。

航空法の改正を受け、農林水産省においても、平成 27 年 12 月に「空中散布等における無人航空機利用技術指導指針」（農林水産省消費・安全局長通知、以下「指導指針」という。）を新たに発出し、マルチローター（ドローン）を含めた無人航空機による農薬散布の安全かつ適正な実施を推進している。指導指針では、①住宅地等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を講じるよう指導が行われている。

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、「産業用無人航空機運用要領」（平成 2 年 5 月 15 日）を定め、機体の登録やオペレーター技能の確認によって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虫害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ナビゲーターへの指導を行っている。

さらに、農薬の飛散の低減に向け、ノズル配置を改善した飛散低減散布装置を搭載した機体の導入など機材の改良も進められている。

(参考)

◆航空法（昭和 27 年法律第 231 号） 抜粋

（飛行の禁止区域）

第百三十二条 何人も、次に掲げる空域においては、無人航空機を飛行させてはならない。ただし、国土交通大臣がその飛行により航空機の航行の安全並びに地上及び水上の人及び物件の安全が損なわれるおそれがないと認めて許可した場合においては、この限りではない。

- 一 無人航空機の飛行により航空機の航行の安全に影響を及ぼすおそれがあるものとして国土交通省令で定める空域
- 二 前号に掲げる空域以外の空域であつて、国土交通省令で定める人又は家屋の密集している地域の上空

（飛行の方法）

第百三十二条の二 無人航空機を飛行させる者は、次に掲げる方法によりこれを飛行させなければならない。ただし、国土交通省令で定めるところにより、あらかじめ、次の各号に掲げる方法のいずれかによらずに飛行させることが航空機の航行の安全並びに地上及び水上の人及び物件の安全を損なうおそれがないことについて国土交通大臣の承認を受けたときは、その承認を受けたところに従い、これを飛行させることができる。

- 一 日出から日没までの間において飛行させること。
- 二 当該無人航空機及びその周囲の状況を目視により常時監視して飛行させること。
- 三 当該無人航空機と地上又は水上の人又は物件との間に国土交通省令で定める距離を保つて飛行させること。
- 四 祭礼、縁日、展示会その他の多数の者の集合する催しが行われている場所の上空以外の空域において飛行させること。
- 五 当該無人航空機により爆発性又は易燃性を有する物件その他人に危害を与え、又は他の物件を損傷するおそれがある物件で国土交通省令で定めるものを輸送しないこと。
- 六 地上又は水上の人又は物件に危害を与え、又は損傷を及ぼすおそれがないものとして国土交通省令で定める場合を除き、当該無人航空機から物件を投下しないこと。

◆航空法施行規則(昭和 27 年運輸省令第 56 号) 抜粋

(飛行の禁止区域)

第二百三十六条 法第百三十二条第一号の国土交通省令で定める空域は、次のとおりとする。

- 一 進入表面、転移表面若しくは水平表面又は法第五十六条第一項の規定により国土交通大臣が指定した延長進入表面、円錐表面若しくは外側水平表面の上空の空域
- 二 法第三十八条第一項の規定が適用されない飛行場の周辺の空域であつて、航空機の離陸及び着陸の安全を確保するために必要なものとして国土交通大臣が告示で定める空域
- 三 前二号に掲げる空域以外の空域であつて、地表又は水面から百五十メートル以上の高さの空域

第二百三十六条の二 法第百三十二条第二号の国土交通省令で定める人又は家屋の密集している地域は、国土交通大臣が告示で定める年の国勢調査の結果による人口集中地区（地上及び水上の人及び物件の安全が損なわれるおそれがないものとして国土交通大臣が告示で定める区域を除く。）とする。

(飛行禁止空域における飛行の許可)

第二百三十六条の三 法第百三十二条ただし書の許可を受けようとする者は、次に掲げる事項を記載した申請書を国土交通大臣に提出しなければならない。

- 一 氏名及び住所
- 二 無人航空機の製造者、名称、重量その他の無人航空機を特定するために必要な事項
- 三 飛行の目的、日時、経路及び高度
- 四 飛行禁止空域を飛行させる理由
- 五 無人航空機の機能及び性能に関する事項
- 六 無人航空機の飛行経歴並びに無人航空機を飛行させるために必要な知識及び能力に関する事項
- 七 無人航空機を飛行させる際の安全を確保するために必要な体制に関する事項
- 八 その他参考となる事項

(飛行の方法)

第二百三十六条の四 法第百三十二条の二第三号の国土交通省令で定める距離は、三十メートルとする。

◆空中散布等における無人航空機利用技術指導指針（平成 27 年 12 月 3 日農林水産省消費・安全局長通知）抜粋

第 5 空中散布等の実施

4 空中散布等の方法

空中散布等の方法は、次のとおりとする。

- (1) 風下から散布を開始する横風散布を基本とし、オペレーター及び周辺環境等への影響等に十分配慮して作業効果の確保に努めること。

特に小型の無人航空機については、飛行させるための下降気流が小さく、風の影響を受けやすいことから、空中散布等の実施区域及びその周辺の防除対象以外の農作物及び学校、病院等の公共施設、家屋等に、農薬等が飛散しないよう十分注意すること。

- (2) 空中散布等の基準は、別表 2 のとおりとする。

また、農薬を散布する場合にあつては、農薬取締法（昭和 23 年法律第 82 号）に基づき無人ヘリコプター散布用として登録を受けた剤のみを使用し、使用上の注意事項を遵守して使用すること。

- (3) 飛行速度及び飛行間隔については、別表 2 に規定するところによるものとし、散布の均一性が確保されるよう十分配慮すること。

特に小型の無人航空機については、農作物に近い高度で飛行し、空中散布等の均一性を確保することが難しいことから、厳格な飛行速度及び飛行間隔の保持に努めること。

- (4) 飛行高度については、散布薬剤の物理性、気象条件、散布場所及びその周辺区域の地形等を勘案して、別表 2 に規定する範囲内で加減すること。

特に小型の無人航空機については、農作物に近い高度で飛行し、空中散布等の均一性を確保することが難しいことから、厳格な飛行高度の保持に努めること。

- (5) 空中散布等の実施は、気流の安定した時間帯に、かつ、地上 1.5 m における風速が 3 m/s 以下の場合に限ること。

なお、風速が 3 m/s を超える場合は空中散布等を実施し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。

特に小型の無人航空機については、飛行させるための下降気流が小さく、風の影響を受けやすいことから、風向きを十分考慮した空中散布等を行うよう努めること。

- (6) 機体とオペレーターの距離は、目視可能な水平距離が機体の大きさによって異なることから、(2) の基準を遵守できることを前提に、水平距離で 150 m を超えない範囲で機体の位置と向きが把握できる距離とすること。

5 (略)

6 空中散布等の実施に当たっての危被害防止対策

空中散布等を実施する際には、実施区域及びその周辺における危被害防止に万全を期すとともに、オペレーター、ナビゲーター及び作業補助者の安全に十分留意するものとする。

特に、公衆衛生関係（家屋、学校、病院、水道・水源等）、畜水産関係（家畜、家きん、蜜蜂、蚕、魚介類その他の水産動植物等）、他の農作物関係（散布対象以外の農作物等）及び野生動植物関係（天然記念物等の貴重な野生動植物）に対し危被害を発生させるおそれがないよう努めるとともに、次の事項を遵守するものとする。

- (1) 実施主体は、架線等の危険箇所実施除外区域、飛行経路並びにオペレーター及びナビゲーターの経路を示した地図を作成し、当該地図に基づき散布前に実地確認するなど、実施区域及びその周辺の状況把握に努めるとともに、必要に応じて危険箇所及び実施除外区域を示す標識を設置すること。

また、実施主体は、当該地図を保管し、次回以降の防除実施者に確実に引き継ぐこと。

- (2) 実施区域内への人の立入防止を徹底すること。特に学校、通学路等の周辺で実施する場合は、実施区域周辺に十分注意し、実施区域内に児童、生徒等が立ち入らないようにするための措置を徹底すること。

- (3) 実施区域周辺において、空中散布等の対象以外の農作物に農薬が飛散するなどの被害が生じないようにするために必要な措置を徹底すること。また、農薬の飛散低減の観点から、飛散しにくい剤の使用及び散布方法の実施に努めること。

特に、実施区域周辺において、飛来する農薬が原因となって有機農産物に関する認証が受けられなくなるなど、防除対象以外の農作物への危被害が生じないために必要な措置を徹底すること。

- (4) ナビゲーターを機体毎に1名以上配置するとともに、必要に応じて作業補助者を配置すること。また、オペレーター、ナビゲーター及び作業補助者は互いに連携し、一層の周囲の安全確保に努めること。

- (5) オペレーター、ナビゲーター及び作業補助者の安全を十分に確保するため、特に次の事項に留意すること。

ア 離着陸時及び飛行中は、機体とオペレーター、ナビゲーター及び作業補助者との距離を20 m以上確保すること。

イ オペレーター及びナビゲーターは、空中散布等の実施前に共同で実地確認を実施し、危険箇所等の情報を確実に共有すること。

ウ 近くに家屋、架線等がある場所を離着陸地点にしないこと。

エ オペレーター及びナビゲーターは、保護具を着用すること。

オ 必要以上に急激な操作や大きな操作を行わないこと。

カ オペレーターは、家屋、架線等に向けた操作を行わないこと

キ オペレーターは、足場の良いところを移動すること。また、足場が不安定な場所では、機体を止めてから移動すること。

ク 操縦に不具合が発生した場合には、機体を速やかに安全な場所に降下させること。

ケ 同一地区で2機以上を同時に飛行させる場合は、事前にオペレーター等が無人航空機に使用する電波の周波数を確認し合い、電波の混信が起こらないよう異なる周波数を使用すること。

特に小型の無人航空機については、地上デジタル放送電波、携帯基地局電波等の干渉を受けやすいことに十分注意すること。

コ オペレーター及びナビゲーターの連続作業時間が長時間に及ばないよう作業時間に留意すること。

サ オペレーターは、機体を空中散布等の実施区域に隣接していないほ場又は飛行経路上に家屋、架線等がある隣接したほ場に移動させる場合は、機体を着陸させた上で陸上を移動させること。

シ 機体を操作し、又は陸上を移動させる場合は、機体に衝撃を与えることのないよう十分に注意すること。

◆産業用無人ヘリコプターによる病虫害防除実施者のための安全対策マニュアル（平成 29 年版・一般社団法人農林水産航空協会/全国農林航空事業推進協議会）抜粋

8. 散布飛行の基本

散布飛行の安全と、散布作業の効果を確保するため、次の点については散布飛行の基本として厳守して下さい。

- ① 「空中散布等における無人航空機利用技術指導指針」に基づく「空中散布等の基準」で定められた気象条件であるかを確認して下さい。

A. 風

ア. 気流の安定した時間帯に散布飛行を行うものとし、地上 1.5 m の位置における風速が 3 m / 秒を超えるときは散布飛行は中止して下さい。

イ. 風向・風速に注意して、散布区域以外に農薬が飛散しないように努め、場合によっては飛行コースや飛行高度、飛行速度を変更するなど、飛散防止対策をとって下さい。

ウ. オペレーターや作業者等は必ず風上側に位置して下さい。

B. 雨、霧、カミナリ等

降雨時、霧やカミナリの発生時やこれらの発生が予想される場合には飛行を行わないで下さい。

- ② 散布飛行を行う場合は、基準を遵守し、作物上（林木、果樹の場合は、樹冠上等）3～4 m として下さい。

飛行高度が高いと、障害物を超えて目視外へ出て行ってしまう可能性が高まるので、基準以上には上げないで下さい。特に松くい虫防除の高所飛行の際は注意して下さい。

- ③ あらかじめ飛行区域の状況を確認し、もしもの時は安全地帯に無人ヘリコプターを落とすことができる場所を把握しておいて下さい。

- ④ 作業中は、必ずナビゲーターと行動を共にし、オペレーター単独で行動しないで下さい。

- ⑤ 機体に装備された送信機以外を使用しないで下さい。

- ⑥ オペレーターや作業者等は機体から 20 m 以上離れて下さい。特に、無人ヘリが頭上を越えて対面状態になるとパニックになるため自分に向かって近づけるときは速度を落として下さい。

また、機体とオペレーターとの最大距離は水平方向 150 m 以内として下さい。

- ⑦ 人や民家、河川、障害物、電線、架線、太陽等に向けて飛行させないで下さい。また、オペレーターの回りは必ず枕地をとって平行散布をするなど 20 m 以内で飛行させないで下さい。なお、通行量の多い道路の周辺では枕地散布を行って、できる限り平行散布に努めて下さい。

参考文献

- 1) 平成 5 年度環境庁請負業務結果報告書 農薬の大気中への拡散等に関する調査 総合報告書 財団法人残留農薬研究所 平成 6 年 3 月
- 2) 航空防除農薬環境影響評価検討会報告書 環境庁水質保全局 平成 9 年 12 月
- 3) 平成 24 年度環境省請負業務報告書 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飛散リスク評価・管理対策 中間報告書 一般財団法人残留農薬研究所、平成 25 年 3 月

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

散布に係るマスク等の防護装備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（100 m×100 m）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、本事業で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態で、なおかつ通過するのではなくその場で長期間（最大 28 日間）留まり続けるとの条件で評価を行うこととする。

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、経気道によるばく露について、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～数百 μm 、ドリフト低減ノズルを用いた場合で百～数百 μm とされており^{1、2)}、10 μm 以下の粒径のミストはほとんど含まれていない。しかし、0.1 μm 程度のミストが最も長時間浮遊し移動距離が長いと考えられることから、より安全側に立った評価を行うため、散布時の粒径の小さなミストについても考慮した。

（注）上記の経気道によるばく露評価に加え、さらに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も評価を試みた。しかしながら、評価を行うためのデータや手法を検討するための知見が十分でないため、本事業での経皮ばく露評価は行わないこととした（第3章及び参考資料4「経皮ばく露に関する検討の経緯」参照）。

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、減衰していくことから、次に示す距離及び時間の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。なお、各パラメーターは、農薬抄録及び農薬登録情報提供システム（（独）農林水産消費安全技術センター）より得るものとする。以下にシミュレーションから出力されるデータの概要を示す。シミュレーションによるばく露量の推定方法の詳細は第4章に、リスク評価の内容は第5章に記載した。

（1）距離（ばく露濃度を推定する地点）

風下側0～100 mまでを10 m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) 時間（ばく露濃度を推定する時間）

本事業では実際の散布の開始時刻として一般的に行われている午前4時を採用した。

シミュレーションから想定されるばく露濃度の経時的推移及びモニタリングの結果等も含めて考えると、最もヒトへのばく露濃度が高いのは散布日の散布中と散布直後数時間であり、その後は概ね低い値で推移している。よって、散布直後の高い濃度のばく露時期（短期間）とその後の比較的低い濃度のばく露時期（長期間）は分けて評価する必要があると考えられることから、以下のように短期間（散布中から24時間後まで）及び長期間（散布日から28日間）のばく露濃度を推定することとした。

1) 短期間（散布中から24時間後まで）

短期間のばく露濃度については、散布当日を0日目、散布時刻（仮定）の午前4時を0時間とし、散布開始から24時間後までの1時間ごとの平均ばく露濃度を求めた。

2) 長期間（散布日から28日間）

長期間のばく露濃度については、散布当日を0日目、散布時刻（仮定）の午前4時を0時間とし、それ以降は住民の活動時間を代表するものとして12時から13時の1時間の平均ばく露濃度を求めた。

4. 評価対象農薬

無人ヘリコプター散布農薬の経気道によるばく露のリスクを評価するため、本事業では、農薬の反復吸入毒性試験データを用いることとした。このため、既存の当該試験データがない剤については、本事業で可能な限り28日間反復吸入毒性試験をOECDテストガイドライン（TG412）に沿って実施することとした。

剤の選定では、無人ヘリコプターの水稻適用農薬で使用面積（平成21～23年度）が大きい30剤の農薬（参考資料2 表1「無人ヘリコプター防除（水稻）における農薬の使用面積」参照）のうち、その後に農薬の登録や無人ヘリコプターの適用がなくなった剤（ジクロメジン、トリクロロホン）及び人への吸入ばく露の可能性の低い粒剤（ピロキロン、メトミノストロビン、シメコナゾール）については本事業での評価対象外とし、残りの25剤のうち反復吸入毒性試験データが得られた12剤について評価を行った。

トリシクラゾール、フルトラニル、ペンシクロン、プロベナゾール、エチプロール及びテブフェノジドに関しては、反復吸入毒性試験実施に際し、農薬の物理化学的性状等の問題で、OECDテストガイドライン（TG 412）で要求されているばく露条件^{注）}が設定できず、評価対象外とした。カスガマイシンについても、被験物質単体による吸入ばく露が困難であったため、水を助剤とした検討を行ったが、適切な条件設定ができず、評価対象外とした。パリダマイシンA、ジクロシメット、イソプロチオランおよびチアメトキサムについては、物理化学的性状や急性吸入毒性試験のデータから、NOAELを設定するのに必要な高濃度の安定的な吸入ばく露が困難と判断し、評価対象外とした。また、アゾキシストロビンについては、製剤を用いた既存の反復吸入毒性試験データが存在したが、有効成分による影響とそれ以外の成分による影響を分離できなかったため、評価対象外とした。

（注）OECDガイドラインでは、空気力学的質量中位径が1～3ミクロン、幾何学標準偏差が1.5～3.0の粒子を、毒性が発現する適正な被験物質濃度又は限度濃度で4ないし6時間連続発生する事が求められる。助剤の使用にあたっては、助剤に吸入毒性がないことを証明する必要がある。

他方、反復吸入毒性試験が実施できなかった剤については、反復経口毒性試験や急性吸入毒性試験データから反復吸入毒性の推測が可能か検討を行った。しかしながら、経口投与と吸入ばく露では生体内における体内動態に違いがあること、急性吸入毒性試験では明確な無毒性量が確認できないこと等の理由により、本事業における吸入ばく露の評価には反復吸入毒性試験が必要不可欠であるとの結論に至った（参考資料3「経気道ばく露評価の検討の経緯」参照）。

以上のことから、本事業では、無人ヘリコプター用農薬による経気道ばく露を適切に評価するため、反復吸入毒性試験データが得られた下記の12剤について評価を行った。

- (1) エトフェンプロックス【殺虫剤】
- (2) クロチアニジン【殺虫剤】
- (3) クロマフェノジド【殺虫剤】
- (4) ジノテフラン【殺虫剤】
- (5) シラフルオフェン【殺虫剤】
- (6) フェニトロチオン【殺虫剤】
- (7) フェノキサニル【殺菌剤】
- (8) フェノブカルブ【殺虫剤】
- (9) フェリムゾン【殺菌剤】
- (10) フサライド【殺菌剤】
- (11) ブプロフェジン【殺虫剤】
- (12) メプロニル【殺菌剤】

参考文献

- 1) N. B. Akesson and W. E. Yates: Physical Parameters Relating to Pesticide Application, in Roberts, R.B. Pesticide Spray Application, Behavior, and Assessment: Workshop Proceedings.; USDA Forest Serv. Gen. Tech. Rep. PSW-15, 68p (1976).
- 2) 平成18年度革新的農業技術習得研修農業機械開発・実用化機種の特徴と活用上の留意点研修テキスト：独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構生物系特定産業技術研究支援センター（平成18年11月）

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の大気経由のばく露経路として、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とから、両経路による毒性評価を試みた。海外では、正確な経皮ばく露評価を行うために、たとえばEUでは作業員曝露許容量(AOEL, Acceptable Operator Exposure Level)の評価において別途ラット皮膚を用いた皮膚吸収率試験や、皮膚透過性試験が要求されており、これらのデータを総合的に勘案して、農業従事者及び周辺住民に対するばく露評価が行われている。しかし我が国では、これらの試験は必須とされておらず、データの収集が困難であることから、本事業では反復経口毒性試験によって得られたADI値を用いた経皮ばく露評価を試みた。しかし、ADIは長期間の反復経口投与試験から算出された値であり、比較的短期かつ高濃度の経皮ばく露の評価には不適切であること、また、無人ヘリコプターにより散布された農薬の大気経由のばく露経路の割合を考えた場合、経皮ばく露の占める割合は経気道ばく露の割合と比較して、極めて小さいと考えられることから、本事業における評価は経気道ばく露に限定することとした。

本章では、経気道によるばく露に係る毒性評価について、検討会で整理された毒性評価値算出の考え方を記載し、さらに、この考え方に基づき評価対象剤について評価を行った結果を示す。

1. 毒性評価値算出の考え方

経気道ばく露において、ラットにおける反復吸入毒性試験が実施されている以下の12剤について評価対象とした。

【評価対象剤】

エトフェンプロックス、クロチアニジン、クロマフェノジド、ジノテフラン、シラフルオフェン、フェニトロチオン、フェノキサニル、フェノブカルブ、フェリムゾン、フサライド、ブプロフェジン、メプロニル

このうち、食品安全委員会で評価が行われているエトフェンプロックスの反復吸入毒性試験については、同委員会の農薬評価書等の報告書に記載されている毒性評価に従った。ジノテフラン、フェニトロチオン、フェノキサニル及びブプロフェジンについては、メーカーから提供された試験データを、フェノブカルブについては、環境省から提供された試験データを基に、また、クロチアニジン、クロマフェノジド、シラフルオフェン、フェリムゾン、フサライド及びメプロニルについては、本事業で28日間反復吸入毒性試験を実施した後、それぞれ毒性部会で毒性評価を行い、無毒性量を決定した。フェニトロチオンについてはメーカーから提供された2003年の実施試験(GLP対応)と食品安全委員会で評価されている1979年の試験の両者を検討した結果、2003年の試験の方が、1979年の試験よりも毒性評価には適切であると判断し、毒性評価値の算出に採用した。

毒性評価値の算出方法

反復吸入毒性試験の無毒性量を採用し、以下の計算式から算出した。

動物試験の無毒性量をヒトに外挿するにあたり、種差10×個体差10の安全係数100を設定した。また、毒性試験での被験物質ばく露時間等を踏まえて、必要に応じ追加の係数で補正した*。さらに、反復吸入毒性試験で無毒性量の得られなかったフェノブカルブについては、上記の安全係数100に追加の安全係数10を付与した。

本計算式により算出した毒性評価値を、以降「気中濃度評価値」とする。

例：6 時間/日、週 5 日間投与の 28 日間反復吸入毒性試験の場合

$\text{気中濃度評価値} [\text{mg}/\text{m}^3] = \text{反復吸入毒性の無毒性量} [\text{mg}/\text{m}^3] \times 1/100^{\text{注}} \times (6 \text{ 時間}/24 \text{ 時間} \times 5 \text{ 日}/7 \text{ 日})^*$
--

* 週 5 日投与に対する補正について

吸入毒性試験のばく露濃度から無毒性量の被験物質摂取量の算出にあたり、1 日 6 時間、週 5 日投与に対して補正を行った。

(注) フェノブカルブについては無毒性量が得られなかったため、安全係数を 100 ではなく追加の安全係数 10 を設定し、1,000 として計算を行った。

2. 経気道によるばく露の毒性評価値のまとめ

12 剤について得られた吸入毒性試験の評価結果を表 3-1 に取りまとめた。さらにこれらの試験における無毒性量 (NOAEL) から、前項の計算式より気中濃度評価値を算出した。その結果を表 3-2 に示した (個別の評価の詳細については、参考資料 5「気中濃度評価に資する毒性評価結果報告」参照)。

表 3-1 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 (最小毒性量における毒性所見)	無毒性量 (mg/L)
	試験系	使用 動物数	ばく露 濃度群 (mg/L)	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 ¹⁾)	ラット雌雄 Wistar(Crl: COBS®WI Br)	雌雄 各 15 匹/群	0, 0.042, 0.21, 1.01	全身	6 時間/日, 6 日/週, 90 日間	雄: 肝及び甲状腺の絶対重量の増加 小葉中心性肝細胞肥大 甲状腺小型ろ胞増加及びろ胞上皮の丈の増加 雌: 肝及び甲状腺の絶対重量の増加 小葉中心性肝細胞肥大	雌雄: 0.21
クロチアニジン (23 年度試験実施)	ラット雌雄 Sprague- Dawley Crl:CD (SD)	雌雄 各 5 匹/群	0, 0.105, 0.317, 0.732	鼻部	6 時間/日, 5 日/週, 28 日間	雄: 部分閉眼 体重増加抑制 雌: 部分閉眼 体重増加抑制	雌雄: 0.105
クロマフェノジド (26 年度試験実施)	ラット雌雄 Sprague- Dawley Crl:CD (SD)	雌雄 各 5 匹/群	0, 0.109, 0.501, 2.25	鼻部	6 時間/日, 5 日/週, 28 日間	雄: 体重増加抑制 摂餌量減少 雌: 部分閉眼 鼻甲介粘膜細胞の過形成	雌雄: 0.109
ジノテフラン (既存データ ²⁾)	ラット雌雄 Crl: WI (GLxJBRL/Ha)	雌雄 各 10 匹/群	0, 0.22, 0.66, 2.08	鼻部	6 時間/日, 7 日/週, 28 日間	雄: 毒性所見なし 雌: 毒性所見なし	雌雄: 2.08
シラフルオフェン (28 年度試験実施)	ラット雌雄 Sprague- Dawley Crl:CD (SD)	雌雄 各 5 匹/群	0 0.220, 0.590, 2.14	鼻部	6 時間/日, 5 日/週, 28 日間	雄: 体重増加及び摂餌量減少 肺及び気管支の相対重量の増加 気管気管支リンパ節腫大 肺泡沫マクロファージの肺胞内蓄積 肺炎症性細胞の肺胞内浸潤 気管気管支リンパ節細胞数増加 雌: 白血球数(主に好中球及びリンパ球)増加 気管気管支リンパ節腫大 肺泡沫マクロファージの肺胞内蓄積 肺炎症性細胞の肺胞内浸潤 気管気管支リンパ節細胞数増加	雌雄: 0.590

表3-1 吸入毒性試験対象農薬の無毒性量のまとめ（つづき）

農薬成分名	試験条件*					エンドポイント (最小毒性量における毒性所見)	無毒性量 (mg/L)
	試験系	使用 動物数	ばく露 濃度群 (mg/L)	ばく露 経路	ばく露 期間		
フェニトロチオン (既存データ ³⁾)	ラット雌雄 Sprague- Dawley (SD)	雌雄 各 16 匹/群	0, 0.015, 0.062,	全身	2 時間/日, 6 日/週, 28 日間	雄: 赤血球及び脳コリンエステラーゼ活性低下 雌: 赤血球及び脳コリンエステラーゼ活性低下 卵巣の絶対・相対重量の減少	雄: 0.015 雌: 0.007
	ラット雌雄 Sprague- Dawley (SD)	雌雄 各 24 匹/群	0, 0.002, 0.007,	全身	2 時間/日, 5 日/週, 28 日間	雄: 毒性所見なし 雌: 毒性所見なし	
フェニトロチオン (既存データ ⁴⁾)	ラット雌雄 Sprague- Dawley Crj:CD (SD)	雌雄 各 5 匹/群	0, 0.002, 0.0038, 0.0074	鼻部	6 時間/日, 5 日間/週, 28 日間	雄: 赤血球コリンエステラーゼ活性低下 雌: 脳及び赤血球コリンエステラーゼ活性低下	雌雄: 0.0038
フェノキサニル (既存データ ⁵⁾)	ラット雌雄 RccHan™: WIST	雌雄 各 5 匹/群	0, 0.049, 0.160, 0.510	鼻部	6 時間/日, 5 日/週, 28 日間	雄: 毒性所見なし 雌: 総コレステロール・リン脂質増加 肝臓の絶対・相対重量の増加 小葉中心性肝細胞肥大	雄: >0.510 雌: 0.160
フェノブカルブ (既存データ ⁶⁾)	ラット雌雄 Sprague- Dawley Cr1:CD (SD)	雌雄 各 10 匹/群	0, 0.005, 0.020, 0.081, 0.322	全身	6 時間/日, 7 日/週, 28 日間	雄: グルコースの減少 脳のコリンエステラーゼ活性低下 雌: 脳のコリンエステラーゼ活性低下	雄: <0.005 雌: 0.020
フェリムゾン (23 年度試験実施)	ラット雌雄 Sprague- Dawley Cr1:CD (SD)	雌雄 各 5 匹/群	0, 0.218, 0.779, 2.19	鼻部	6 時間/日, 5 日/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 雌: 運動量の軽度減少 部分及び完全閉眼	雌雄: 0.218
フサライド (22 年度試験実施)	ラット雌雄 Sprague- Dawley Cr1:CD (SD)	雌雄 各 5 匹/群	0, 0.21, 1.10, 4.90	鼻部	4 時間/日, 7 日/週, 28 日間	雄: 体重増加抑制 摂餌量減少 肺及び気管支の相対重量の増加 肺泡沫状マクロファージ蓄積増加 雌: 体重増加抑制 摂餌量減少 肺及び気管支の絶対・相対重量の増加 肺泡沫状マクロファージ蓄積増加 気管支リンパ節のリンパ球過形成 鼻腔嗅上皮の萎縮	雄: 0.21 雌: 1.10
ブプロフェジン (既存データ ⁷⁾)	ラット雌雄 Sprague- Dawley Cr1:CD (SD)	雌雄 各 5 匹/群	0, 0.023, 0.112, 0.509	鼻部	6 時間/日, 5 日/週, 28 日間	雄: 副腎皮質肥大 雌: 副腎の相対重量の増加 副腎皮質肥大	雌雄: 0.112

表 3-1 吸入毒性試験対象農薬の無毒性量のまとめ（つづき）

農薬成分名	試験条件*					エンドポイント (最小毒性量における毒性所見)	無毒性量 (mg/L)
	試験系	使用 動物数	ばく露 濃度群 (mg/L)	ばく露 経路	ばく露 期間		
メプロニル (27 年度試験実施)	ラット雌雄 Sprague- Dawley Cr1:CD (SD)	雌雄 各 5 匹/群	0, 0.209, 0.617, 2.25	鼻部	6 時間/日, 5 日/週, 28 日間	雄：流涎、喘ぎ呼吸及び乾性ラ ッセル音 体重増加抑制 摂餌量減少 肺及び気管支の相対重量 の増加	雌雄：0.617
						雌：流涎 体重増加抑制	

* 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」2017 年 4 月 食品安全委員会

2) Shepherd, N M: MTI-446: 28 Day Inhalation (nose-only) Toxicity Study in the Rat (2002). (三井化学アグロ株式会社提供資料；本成績の所有権及び利用権は三井化学アグロ株式会社にある。)

3) 農薬評価書「フェニトロチオン」2017 年 8 月 食品安全委員会

4) フェニトロチオンのラットにおける 4 週間反復吸入毒性試験 (平成 15 年 8 月 29 日) (住友化学株式会社提供資料；本成績の所有権及び利用権は住友化学株式会社にある。)

5) Braun, L.: Fenoxanil Technical Grade: 28-Day Inhalation Toxicity Study in the Wistar Rat (2015). (日本農薬株式会社提供資料；本成績の所有権及び利用権は日本農薬株式会社にある。)

6) 環境省：フェノブカルブのラットを用いた 28 日間吸入毒性試験最終報告書 (1998 年)

7) Weinberg, JT: A 28-Day Inhalation Toxicity Study of Buprofezin in Sprague Dawley Rats (2015). (日本農薬株式会社提供資料；本成績の所有権及び利用権は日本農薬株式会社にある。)

表 3-2 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 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	気中濃度評価値 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
エトフェンプロックス	210,000 (雌雄)	450
クロチアニジン	105,000 (雌雄)	188
クロマフェノジド	109,000 (雌雄)	195
ジノテフラン	2,080,000 (雌雄)	5,200
シラフルオフェン	590,000 (雌雄)	1,054
フェニトロチオン	3,800 (雌雄)	6.79
フェノキサニル	160,000 (雌)	286
フェノブカルブ	<5,000 (雄)	1.25 ^注
フェリムゾン	218,000 (雌雄)	389
フサライド	210,000 (雄)	350
ブプロフェジン	112,000 (雌雄)	200
メプロニル	617,000 (雌雄)	1,102

注：無毒性量が得られなかった (<5,000) ため、安全係数は 1,000 として算出した。

第4章 無人ヘリコプター散布農薬に係る大気経由ばく露評価

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、大気経由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。

本章では、シミュレーションモデルを用いた無人ヘリコプター散布農薬に係る大気経由ばく露評価の方法について示す。

1. 大気経由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のばらつきが大きくなるため、ばく露評価が困難に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用いて農薬飛散の動態を予測することにより大気経由ばく露評価の一般化を図ることとし、平成 22～26 年度にシミュレーションモデルの検討・開発を行った。

具体的には、大気経由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、これを組み合わせた連携システムを構築し総合的に評価を行うこととする。

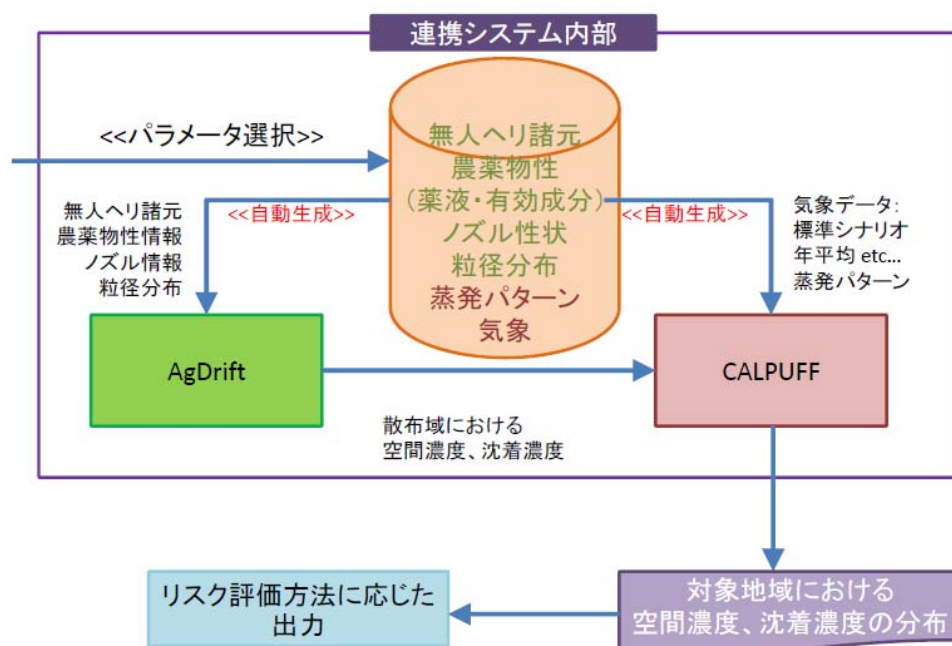
○粒子状物質（スプレードリフト）

・ AgDRIFT (SPRAY DRIFT TASK FORCE) ^{1、2)}

○ガス状物質（ペーパードリフト）

・ CALPUFF (the Atmospheric Studies Group at TRC Solutions) ^{3、4)}

大気経由ばく露評価シミュレーションモデル（AgDRIFT-CALPUFF 連携システム）の構成図



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、評価対象高度を地上 1.5 m とすると、その 100 倍以上(150 m 以上)の風上側まで農薬散布ほ場が均一に広がっていると、農薬散布ほ場以遠の影響を無視できる⁵⁾。また、風向については、一方向のみから風が吹く場合の風下の気中濃度がワーストケースとなることから、風向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は感度解析の結果から東西 210 m、南北 200 m と設定した。なお、地表面の起伏はないものと仮定する。

(2) 標準シナリオ

ア 無人ヘリコプターによる散布条件

大気経由ばく露評価シミュレーションモデルに係る無人ヘリコプターの機体等の設定条件を表 4-1 に示す。各条件はシミュレーションモデルに必要な変数のうち、入力する項目及びシステムであらかじめ入力されている固定項目に基づき設定した。

表4-1 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	3,130 mm	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) ・普及シェアを考慮し、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	2,750 mm/3,630 mm	
無人ヘリ・全高	1,080 mm	
無人ヘリ・最大離陸重量	93 kg	
薬剤最大積載量	24 kg	
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	0.44 MPa (定圧散布のための規定値)	
ノズル間隔	1,340 mm	
ノズルの個数	4 個	
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 μm	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 ⁶⁾ 、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 μm	
農薬の散布粒子 R100 (100 μm 以下の粒子が占める体積割合)	36%	
農薬の散布幅	7.5 m	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 4 m	「産業用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」(一般社団法人農林水産航空協会)より
無人ヘリの散布速度	10 km/h	

イ 散布時の気象条件

気象条件は、新潟県のデータを採用した。

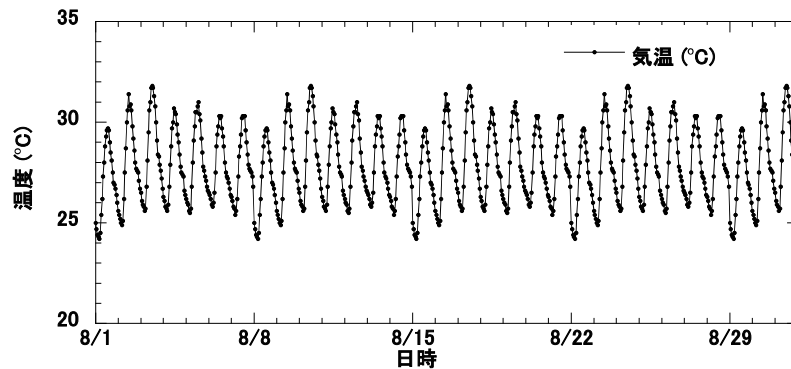
具体的には、アメダスデータの新潟(8月1日から7日までの期間について、10年間(平成14～23年)の平均により求めたデータを4回繰り返して使用することで、8月1日から28日までの試算を行った)を利用し、データの得られない気象要素については平成23年度に行ったモニタリングの実測値⁷⁾を平均して用いることとした(詳細については図4-1～4-6参照)。これらのデータをシミュレーションに用いる標準シナリオとした。

- *気温： 平均 27.8℃ 最高 31.8℃ 最低 24.2℃
- *気圧： 平均 1009.8 hPa 最高 1012.8 hPa 最低 1007.5 hPa
- *風速： 平均 2.6 m/s 最高 4.2 m/s 最低 1.3 m/s
- *日射量： 最高 3.102 MJ/m² 1日平均 20.918 MJ/m²/日

データの得られない気象要素は平成 23 年度に行った実測値を平均して使用した。

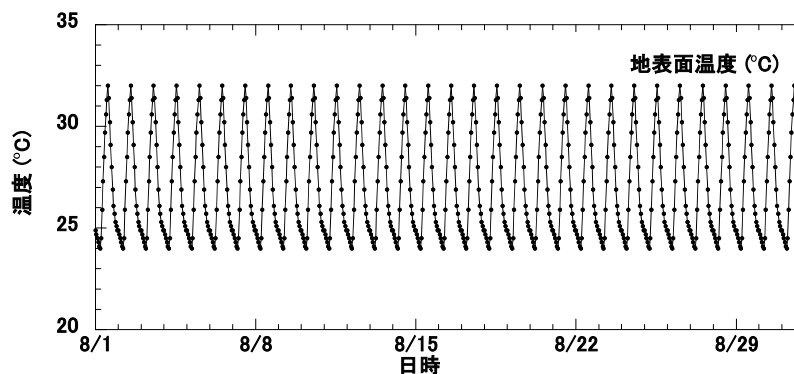
- *田面水温度： 平均 26.0℃ 最高 29.8℃ 最低 23.5℃
- *地表面温度： 平均 27.0℃ 最高 32.0℃ 最低 24.0℃
(裸地ほ場)

新潟県は、①フサライドのモニタリング調査⁷⁾を行った地域であり、大気経由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の中で、8月の気温が比較的高いことから大気中に再揮散しやすく、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。



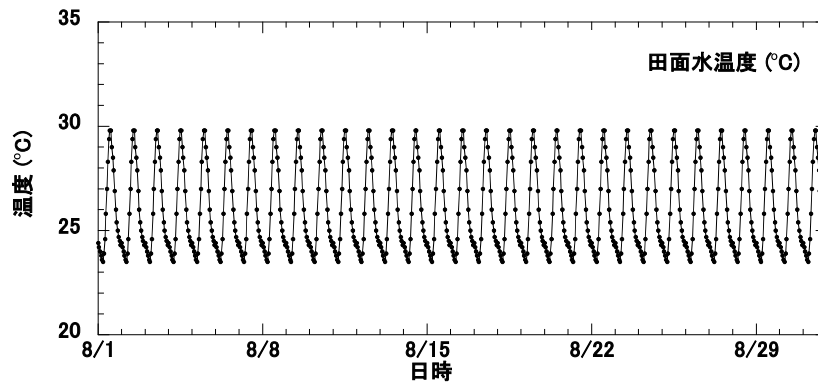
(アメダスデータの新潟を利用。(平均気温：27.8℃、最高：31.8℃、最低：24.2℃))

図 4-1 新潟における平成 14 年から平成 23 年の 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)



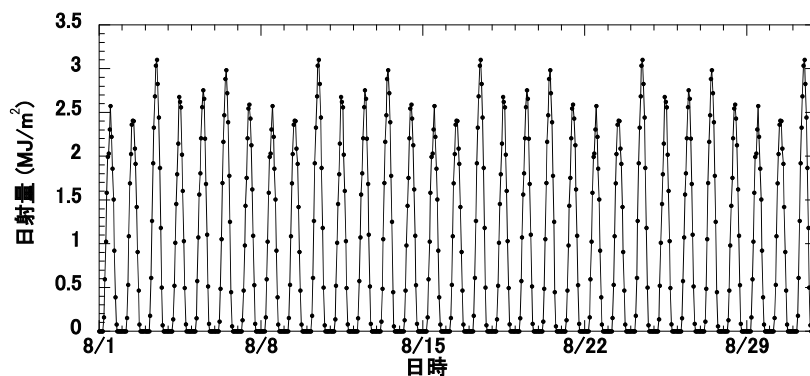
水田周辺の畦や畑等、作物等のない地表面を想定。フサライドのモニタリング調査⁷⁾における、気象観測装置の周辺で測定したデータを利用。(平均地表面温度：27.0℃、最高：32.0℃、最低：24.0℃)

図 4-2 新潟における裸地ほ場地表面温度
(平成 23 年 8 月 8 日から 9 月 5 日の日内平均の繰り返し)



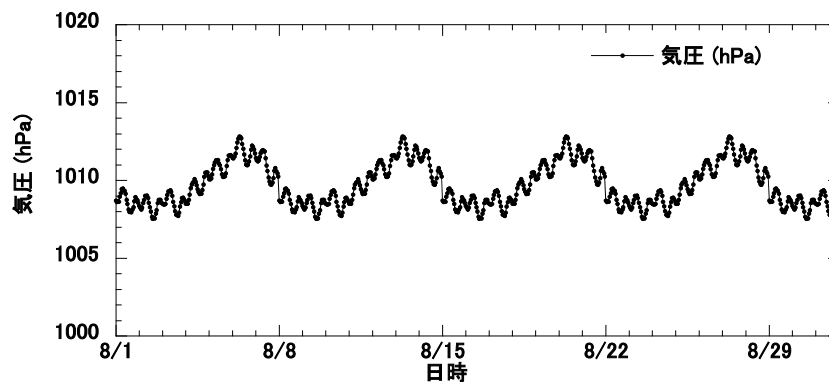
〔 水田を想定。フサライドのモニタリング調査⁷⁾における、気象観測装置の周辺で測定したデータを利用。(平均地表面温度：26.0℃、最高：29.8℃、最低：23.5℃) 〕

図 4-3 新潟における田面水温度（平成 23 年 8 月 8 日から 9 月 5 日の日内平均の繰り返し）



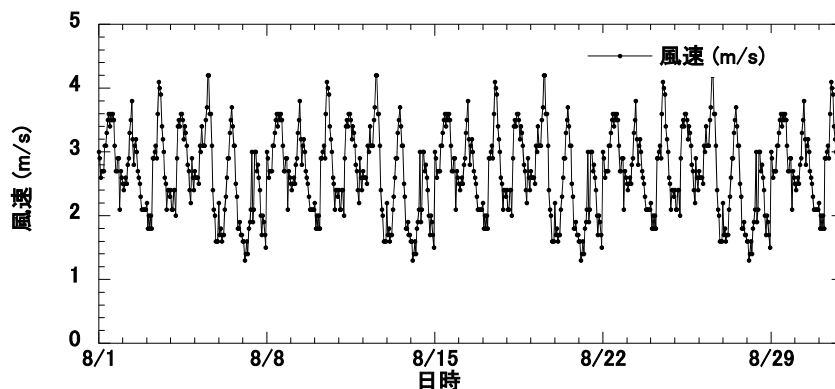
〔 アメダスデータの新潟を利用。〕

図 4-4 新潟における平成 14 年から平成 23 年の 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 4-5 新潟における平成 14 年から平成 23 年の 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 4-6 新潟における平成 14 年から平成 23 年の 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. 大気経路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^{7, 8)}。

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⁷⁾とフェニトロチオン⁷⁾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が、散布場所のほ場内を除きモニタリングデータ（実測値）と同等又は上回るケースが多く（図 4-7～4-11）、安全側に立ってほ場の落下量及び大気中濃度を評価することが可能であると考えられた。

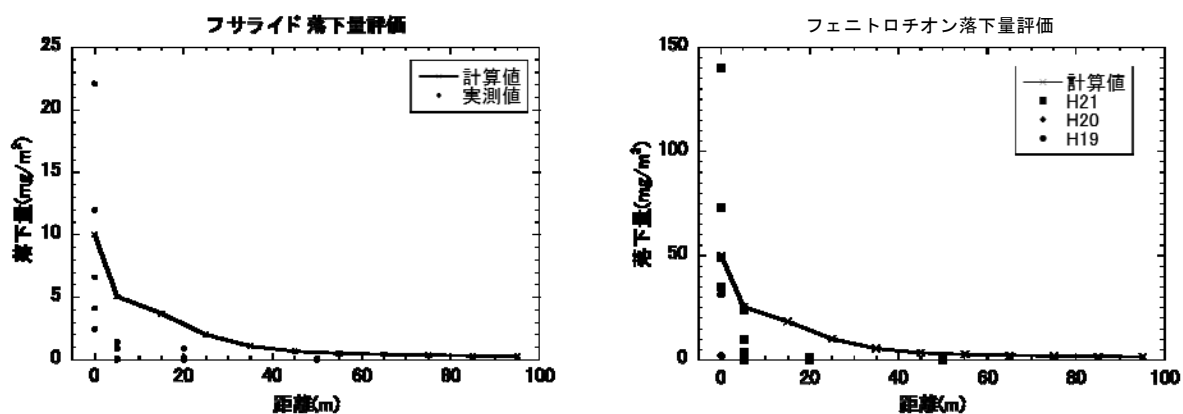


図 4-7 落下量に係るシミュレーション結果とモニタリングデータ
(フサライド・フェニトロチオン)

注：実測値の 0 m はほ場の中央近くのサンプル値。計算値の 0 m はほ場内の平均値。

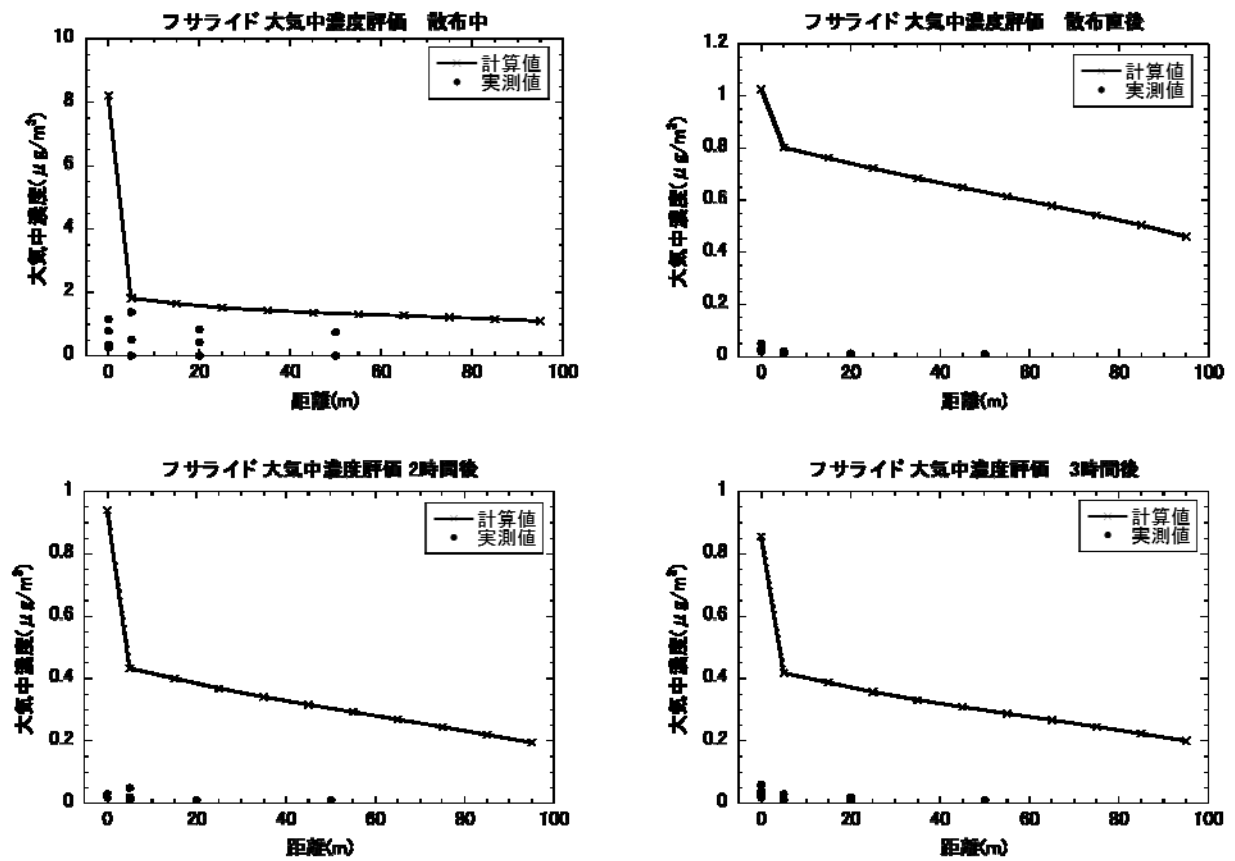


図 4-8 気中濃度に係るシミュレーション結果とモニタリングデータ
(フサライド：散布中～3時間後)

注：実測値の 0 m はほ場の中央近くのサンプル値。計算値の 0 m はほ場内の平均値。

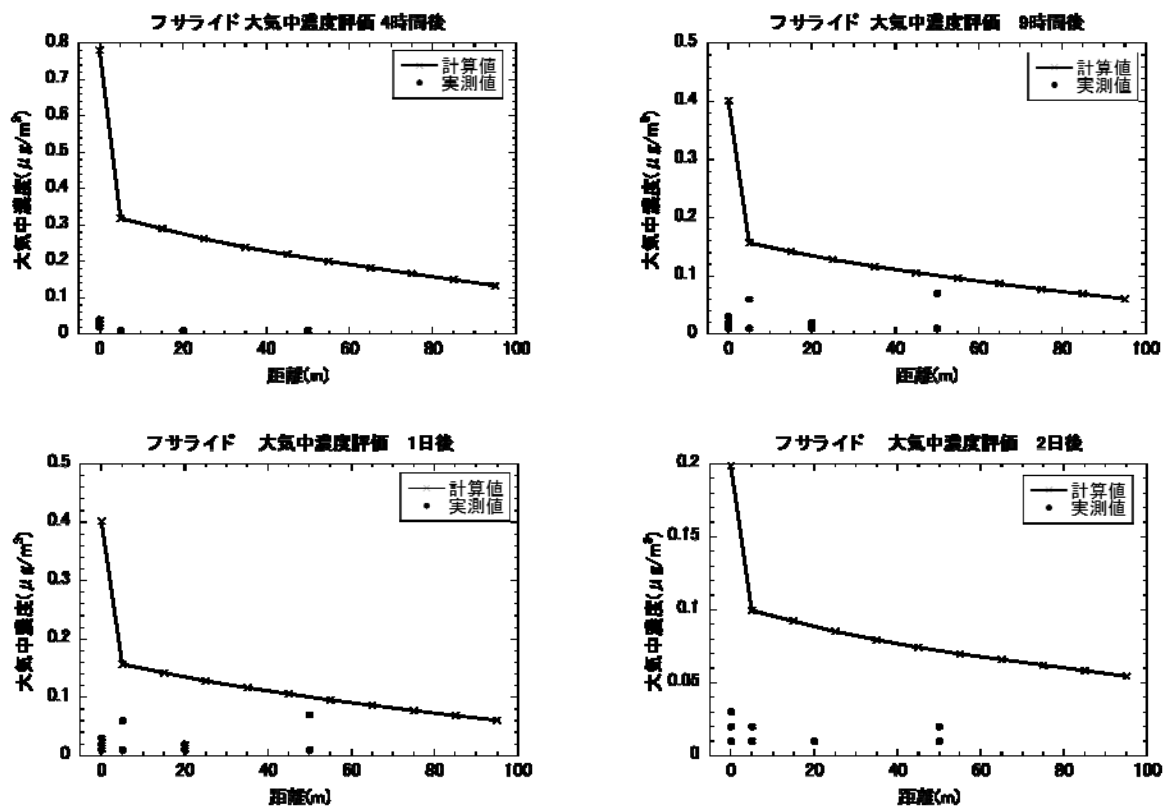


図 4-9 気中濃度に係るシミュレーション結果とモニタリングデータ
(フサライド：4時間後～2日後)

注：実測値の 0 m はほ場の中央近くのサンプル値。計算値の 0 m はほ場内の平均値。

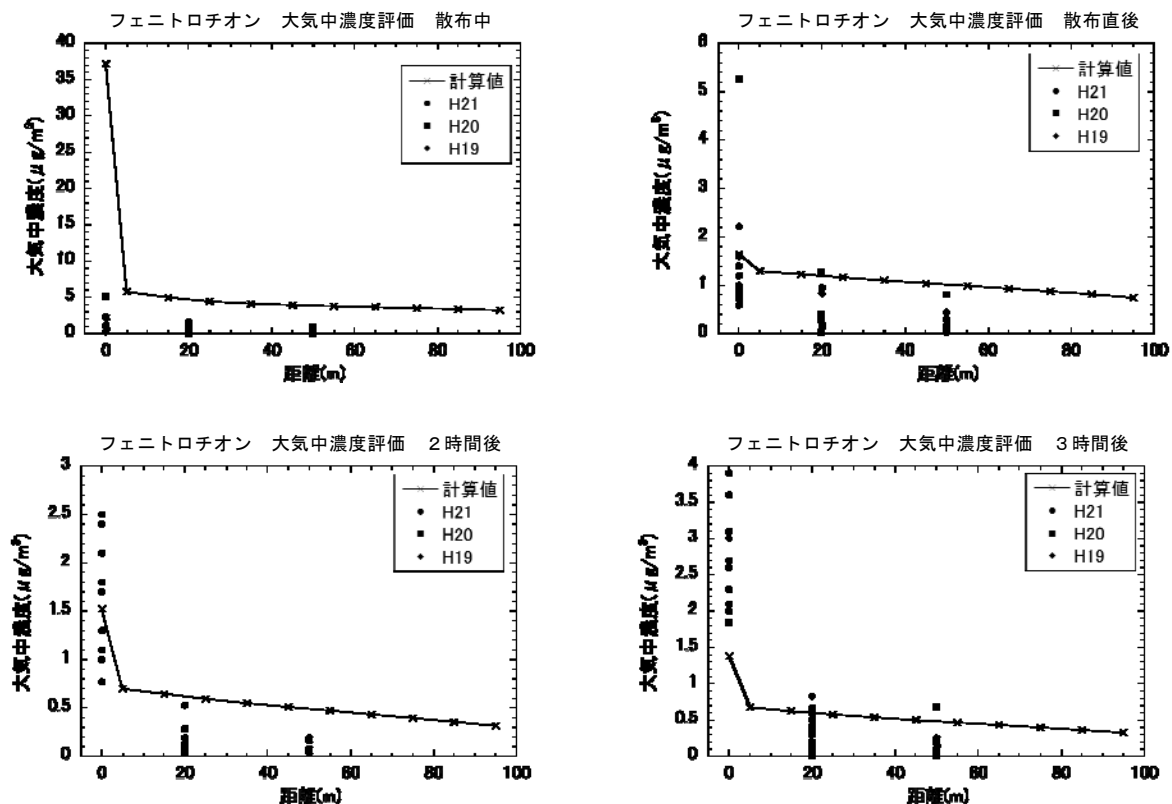


図 4-10 気中濃度に係るシミュレーション結果とモニタリングデータ
(フェニトロチオン：散布中～3 時間後)

注：実測値の 0 m はほ場の中央近くのサンプル値。計算値の 0 m はほ場内の平均値。

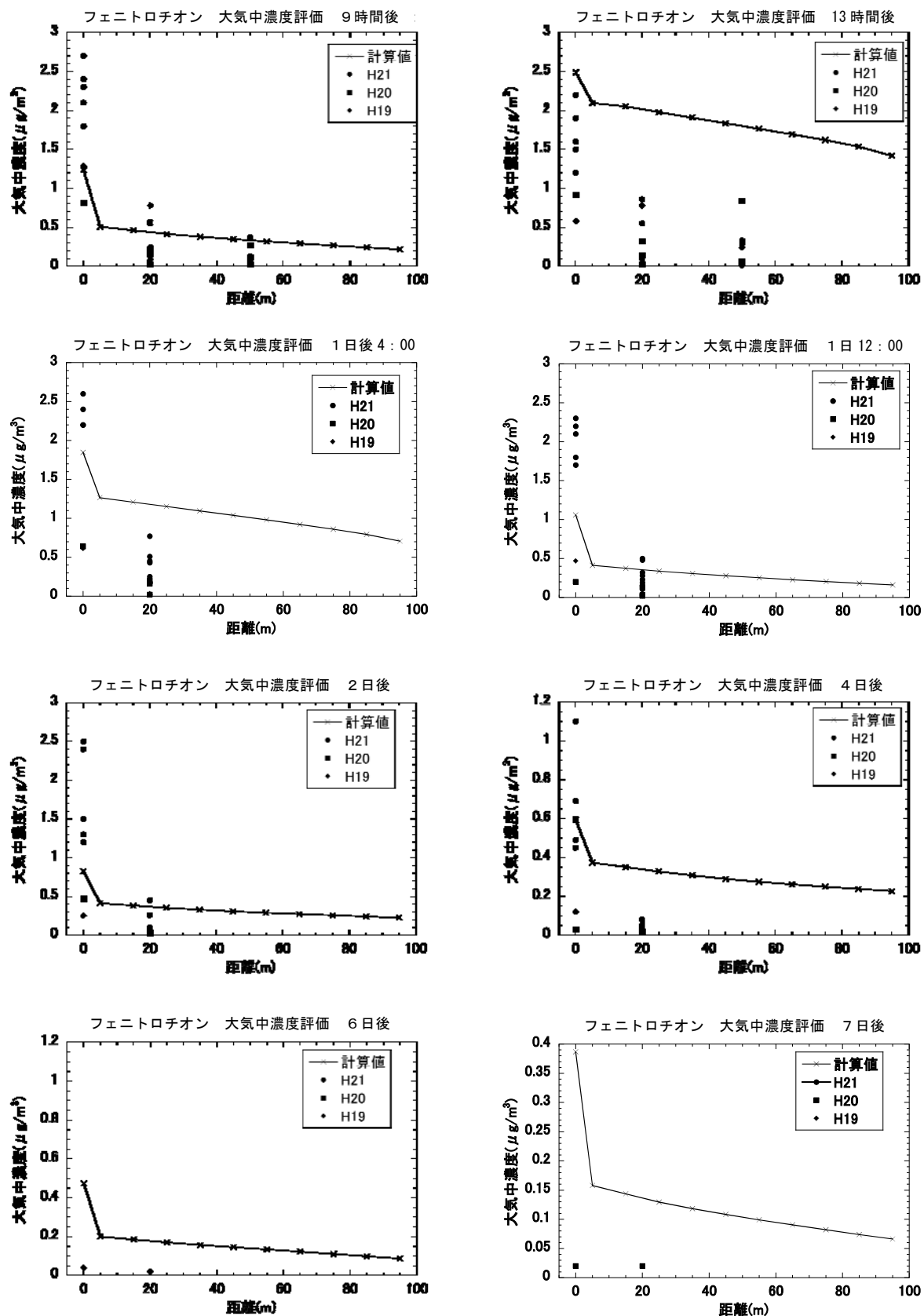


図 4-11 気中濃度に係るシミュレーション結果とモニタリングデータ
(フェニトロチオン：9 時間後～7 日後)

注：実測値の 0 m はほ場の中央近くのサンプル値。計算値の 0 m はほ場内の平均値。

次に、大気経由ばく露評価シミュレーションを用いて、検討対象農薬について、農薬製剤散布溶液及び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 4-12～4-18、左：初期、右：28 日間）。農薬散布粒子の落下後の再揮散において、相対的に水溶解度が小さい、蒸気圧が大きい、もしくはヘンリー定数の大きい物理化学性を持つ農薬有効成分は再揮散しやすいことから気中濃度が高い傾向があった。ただし、このような農薬有効成分については、再揮散により大気へ移行していくために、濃度の減衰も早かった。

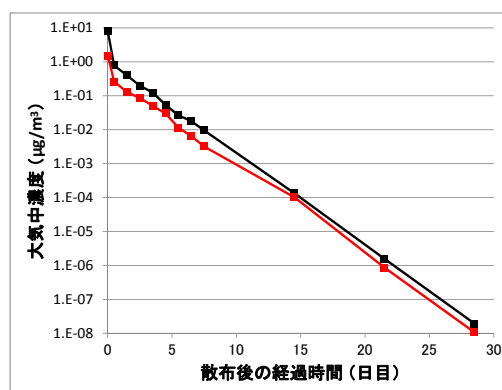
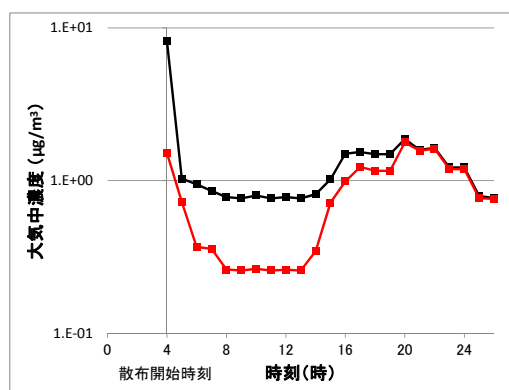


図 4-12 気中濃度に係るシミュレーション結果（フサライド）

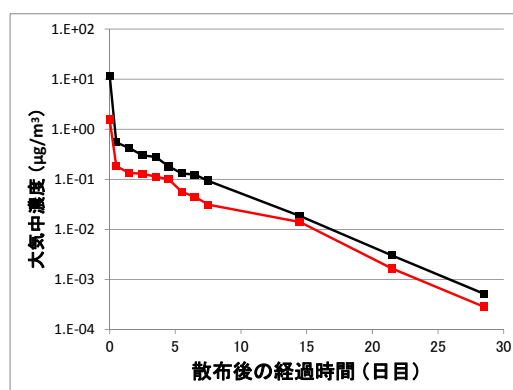
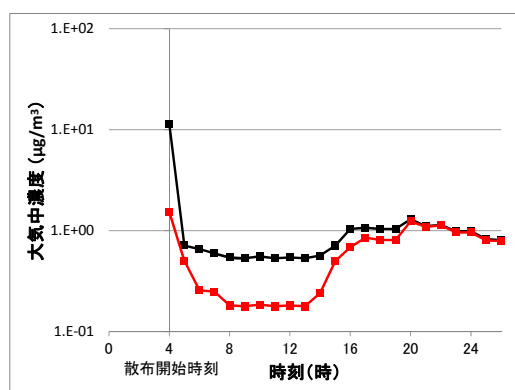


図 4-13 気中濃度に係るシミュレーション結果（フェリムゾン）

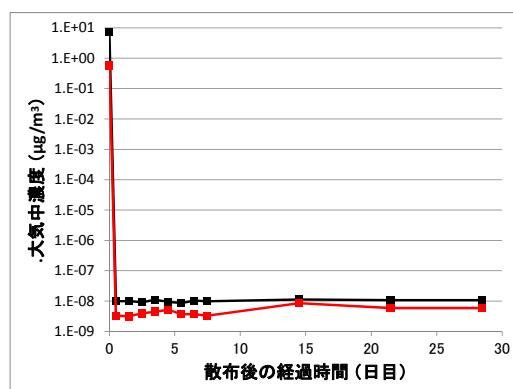
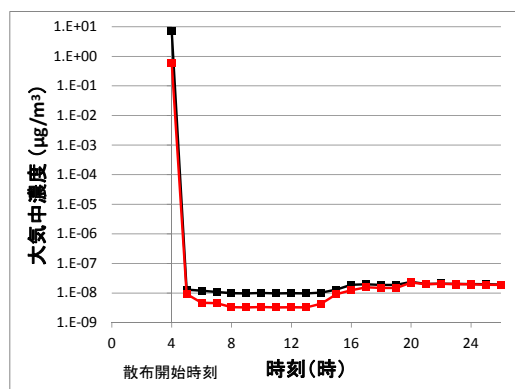


図 4-14 気中濃度に係るシミュレーション結果（ジノテフラン）

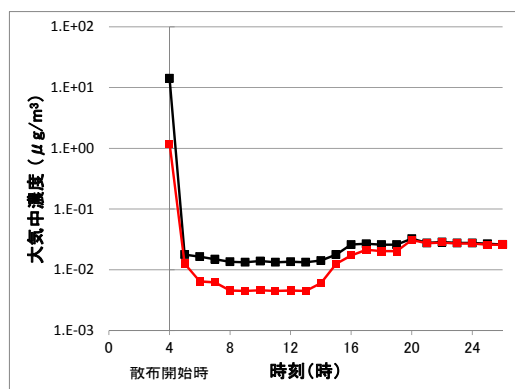
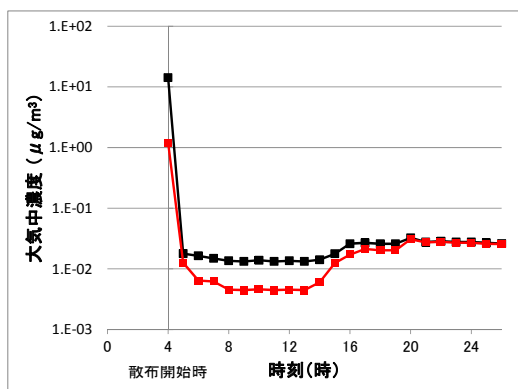


図 4-15 気中濃度に係るシミュレーション結果（エトフェンプロックス）

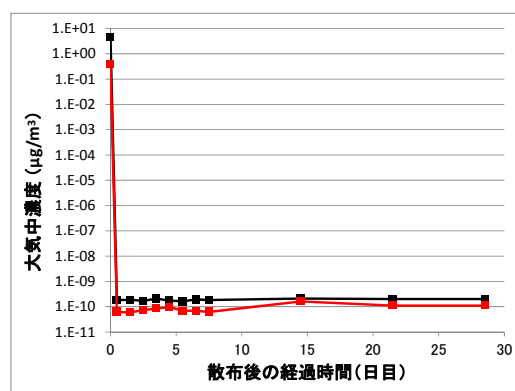
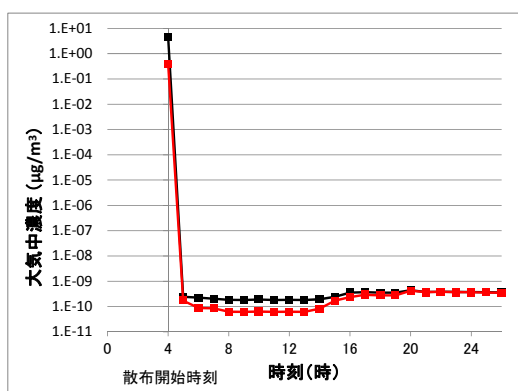


図 4-16 気中濃度に係るシミュレーション結果（クロチアニジン）

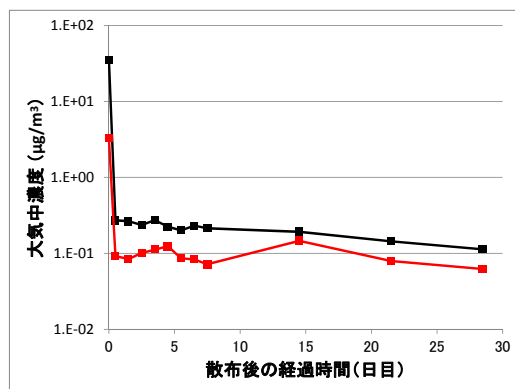
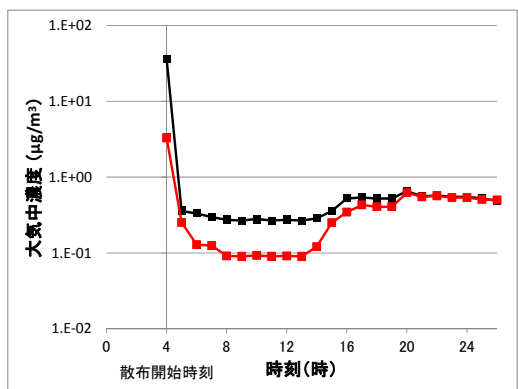


図 4-17 気中濃度に係るシミュレーション結果（フェニトロチオン）

—■— ほ場内中央
—■— ほ場の縁から 20~30 m

4. 大気経路ばく露評価シミュレーションの結果の信頼性の確認（フェリムゾン）

シミュレーションモデルの精度や影響を及ぼす気象等の要素について解析・考察を行うため、フェリムゾンによるモニタリング調査を実施し、シミュレーションモデルの信頼性の確認を行った⁹⁾。

（1）大気経路ばく露評価シミュレーションモデルの検証方法

モニタリングの結果について、シミュレーションモデルの計算結果と比較し、シミュレーションモデルの信頼性を確認し、さらに、シミュレーションモデルの精度や影響を及ぼす気象等の要素について以下の①と②について解析・考察を行った。

①標準シナリオでのシミュレーション結果は、モニタリング調査の実測値（以下、「モニタリング値:M」）を上回るか

シミュレーション値（標準シナリオ:H）＞ モニタリング値（M）

②モニタリング時の気象条件（以下、「実気象条件:J」）を用いたシミュレーション結果は、モニタリング値に近い値となるか

シミュレーション値（H）＞ シミュレーション値（実気象条件:J）
 $\geq$ モニタリング値（M）

（2）シミュレーション評価に用いた気象条件

シミュレーション評価に用いた気象条件を表4-2に示す。

上段は平成 25 年度のモニタリング期間中の気象データ（J）で下段は標準シナリオ（H）の場合を示す。

表4-2 シミュレーション評価に用いた気象条件

項目		平均	最高	最低
*気温：	J	26.9℃	32.1℃	21.4℃
	H	27.8℃	31.8℃	24.2℃
*気圧：	J	1006.5 hPa	1010.1 hPa	1003.9 hPa
	H	1009.8 hPa	1012.8 hPa	1007.5 hPa
*風速：	J	1.2 m/s	4.5 m/s	0.0 m/s
	H	2.6 m/s	4.2 m/s	1.3 m/s
	散布時：	J		
		H		
*田面水温度：	J	27.2℃	33.6℃	22.3℃
	H	26.0℃	29.8℃	23.5℃
*地表面温度：	J	27.2℃	33.6℃	22.3℃
	H	27.0℃	32.0℃	24.0℃
*日射量：		最高		1日平均
	J	3.21 MJ/m ²		17.12 MJ/m ² /日
	H	3.10 MJ/m ²		20.92 MJ/m ² /日

*風向：常に北から南（0度）

(3) 田面水や地表面からの大気への移行速度（農薬の揮散フラックス）の算出

二重境膜モデル¹⁰⁾により推算し、シミュレーションモデル内での田面水や地表面からの大気への移行速度とした。

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

R： 気体定数 ($8.3 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

T： 絶対温度 (K)

H： ヘンリー定数 ($\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$)

$$\log H = m/T + b$$

C_w 、 C_a ： 評価対象農薬の水相中と気相中の濃度

K_{ol} ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)： 水層 k_w と気層 k_a における物質移動係数の寄与からなる全体の物質移動係数

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

上記の計算式に実気象条件及び標準シナリオの気象条件を入力して計算し、大気への移行速度としてフラックスを評価した。計算結果を図4-19に示す。散布後の初期（2日目頃まで）にはシミュレーション値の移行速度がより大きく、その後シミュレーション値が低値に推移し、モニタリング時の気象条件での移行速度が大きい傾向となった。すなわちシミュレーション値では初期に大気へ移行して、急激に減少したが、モニタリング時の気象条件では、初期にはあまり大気へ移行しないため、それ以降も放出が継続した。上記のモデルでは土壌中、水中での半減期を考慮していないので、大気への移行の継続がみられた。

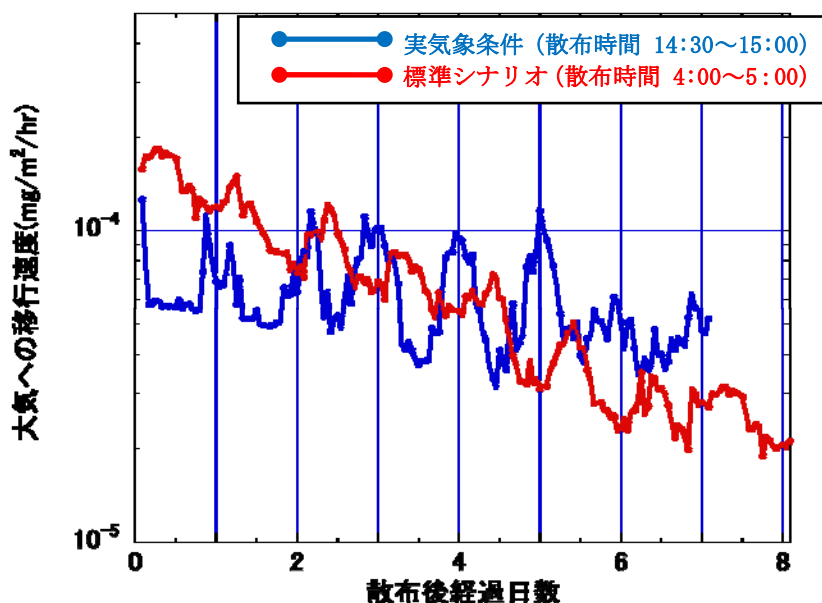


図4-19 大気への移行（揮散）速度の推移

(4) 落下量分布の計算値とモニタリング値との比較⁹⁾

散布中のスプレードリフト落下量分布の評価を行った。標準シナリオでのシミュレーションによる落下量は、どの地点においてもモニタリング値を超えていないことが確認された。

表 4-3 スプレードリフト落下量分布評価（散布中 14:30～15:00）

落下量 (mg/m ³)	区域内1	区域内2	北側ライン					東側ライン				
			5 m	15 m	25 m	45 m	95 m	5 m	15 m	25 m	45 m	95 m
モニタリング値	2.44	2.34	1.01	0.57	0.40	0.32	0.10	0.57	0.51	0.31	0.44	0.12
シミュレーション値 (標準シナリオ)	19.0	19.0	5.88	2.27	1.84	1.31	0.68	6.43	1.95	1.62	1.23	0.86
シミュレーション値 (実気象条件) ^注	19.0	19.0	9.14	7.28	4.22	1.30	0.57	9.14	7.28	4.22	1.30	0.57

落下量 (mg/m ³)	区域内1	区域内2	南側ライン					西側ライン				
			5 m	15 m	25 m	45 m	95 m	5 m	15 m	25 m	45 m	95 m
モニタリング値	2.44	2.34	0.05	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
シミュレーション値 (標準シナリオ)	19.0	19.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
シミュレーション値 (実気象条件)	19.0	19.0	9.14	7.28	4.22	1.30	0.57	9.14	7.28	4.22	1.30	0.57

表の見方： 標準シナリオ＝第1段階のシミュレーションで求められた値

実気象条件＝標準シナリオのシミュレーション値を調査年度の気象条件を用いて補正した値

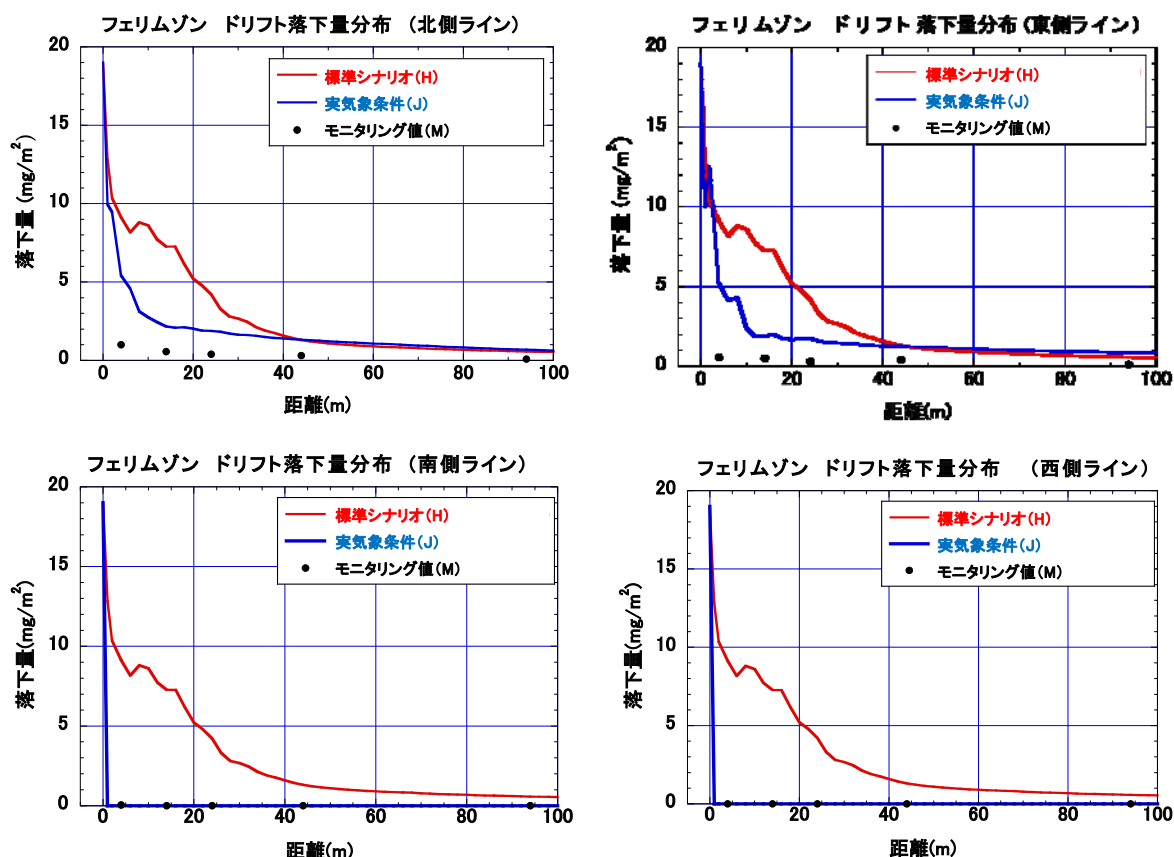


図 4-20 気中濃度計算値の分布（散布中）

(5) 気中濃度分布の計算値とモニタリング値との比較

シミュレーションによるモニタリング地点の気中濃度の計算値¹¹⁾とモニタリング値⁹⁾との比較を行なった。

実気象条件及び標準シナリオでのシミュレーションモデルによる農薬の飛散分布評価と経時的な推移の評価を行った結果、モニタリングデータより低くなることはなく、シミュレーションモデルによる評価は妥当なものであった。

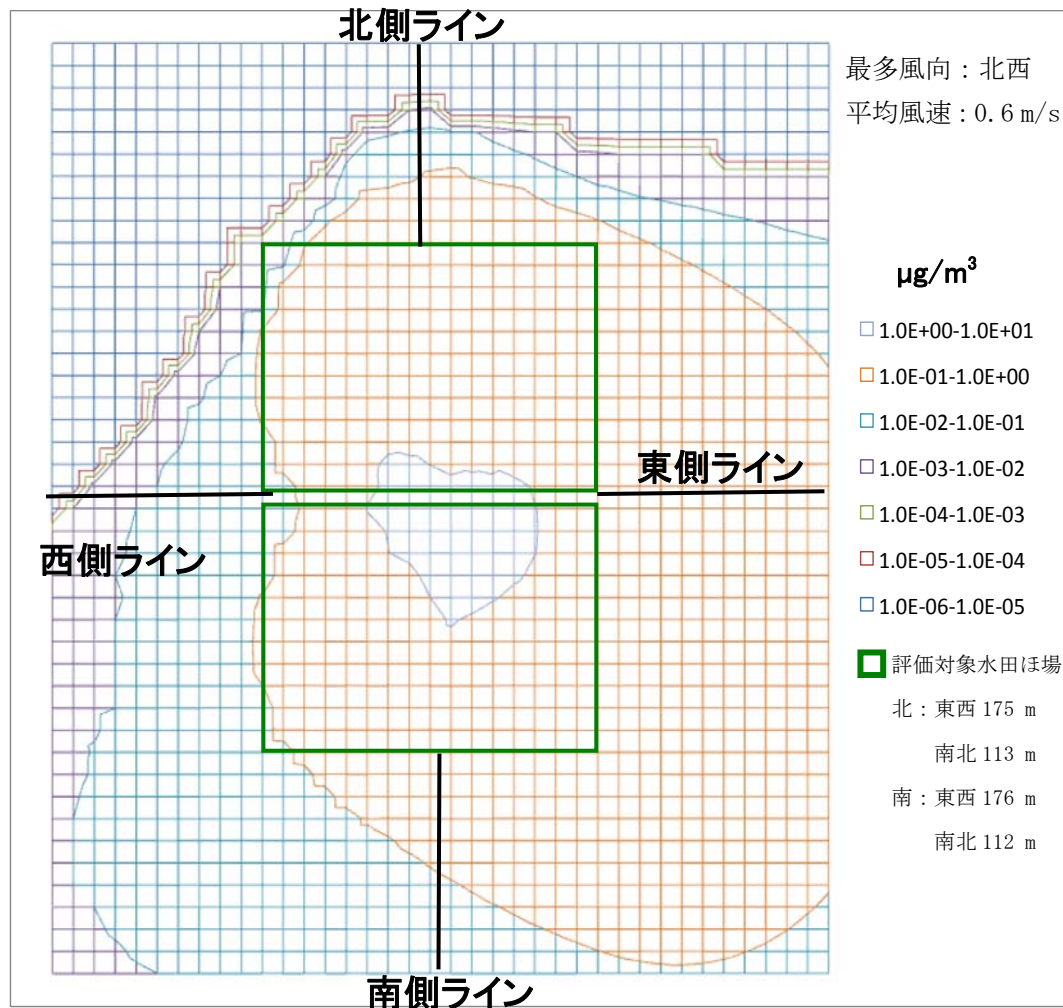


図 4-21 気中濃度計算値の分布（散布 1 日後 13:00~14:00）

表4-4 気中濃度分布の計算値とモニタリング値との比較(散布中)

気中濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	区域内1	区域内2	北側ライン					東側ライン				
			5 m	15 m	25 m	45 m	95 m	5 m	15 m	25 m	45 m	95 m
モニタリング値	5.54	2.66	2.66	0.93	1.14	0.72	0.27	0.85	0.42	0.66	0.28	0.44
シミュレーション値 (標準シナリオ)	13.81	14.07	1.27	1.08	0.96	0.71	0.26	1.57	1.33	1.20	1.01	0.68
シミュレーション値 (実気象条件)	14.2	14.2	2.28	1.98	1.77	1.57	1.29	2.28	1.98	1.77	1.57	1.29

気中濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	区域内1	区域内2	南側ライン					西側ライン				
			5 m	15 m	25 m	45 m	95 m	5 m	15 m	25 m	45 m	95 m
モニタリング値	5.54	2.66	0.02	<0.016	<0.016	<0.016	<0.016	<0.016	<0.016	<0.016	<0.016	<0.016
シミュレーション値 (標準シナリオ)	13.81	14.07	0.58	0.41	0.41	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
シミュレーション値 (実気象条件)	14.2	14.2	2.28	1.98	1.77	1.57	1.29	2.28	1.98	1.77	1.57	1.29

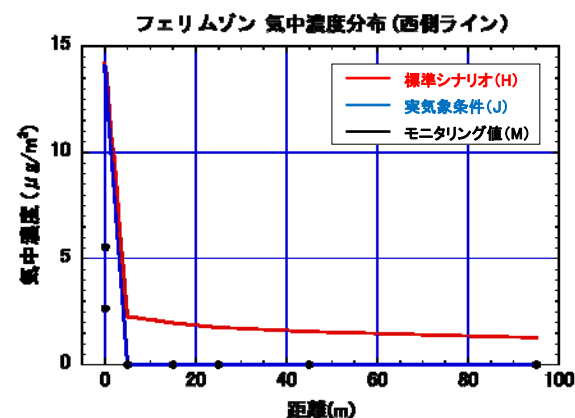
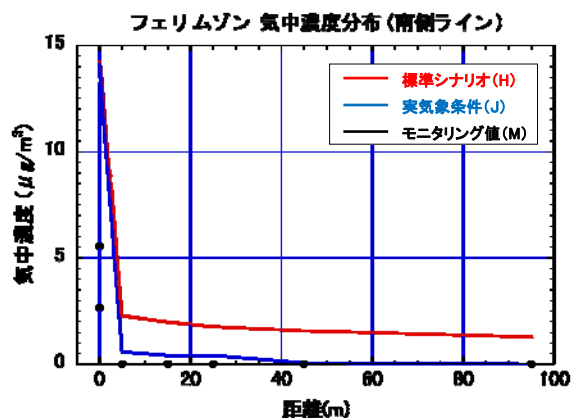
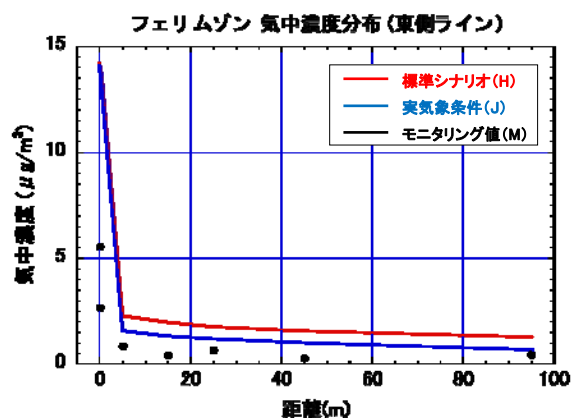
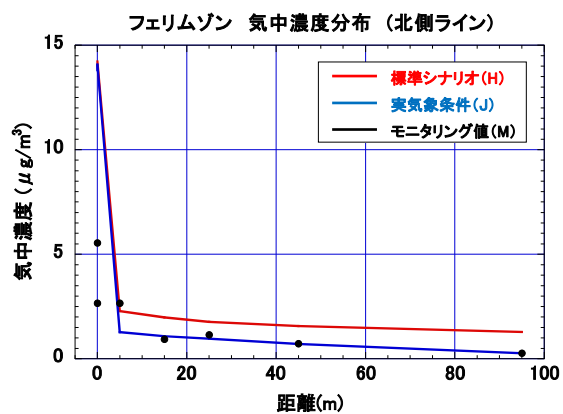


図 4-22 気中濃度分布の計算値とモニタリング値との比較 (散布中)

表 4-5 気中濃度分布の計算値とモニタリング値との比較（散布終了から 1 時間後）

気中濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	区域内1	区域内2	北側ライン					東側ライン				
			5 m	15 m	25 m	45 m	95 m	5 m	15 m	25 m	45 m	95 m
モニタリング値	0.009	0.009	0.010	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008
シミュレーション値 (標準シナリオ)	0.20	0.20	0.20	0.19	0.19	0.19	0.18	0.20	0.20	0.20	0.20	0.19
シミュレーション値 (実気象条件)	0.71	0.71	0.56	0.53	0.50	0.45	0.32	0.56	0.53	0.50	0.45	0.32

気中濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	区域内1	区域内2	南側ライン					西側ライン				
			5 m	15 m	25 m	45 m	95 m	5 m	15 m	25 m	45 m	95 m
モニタリング値	0.009	0.009	0.02	<0.016	<0.016	<0.016	<0.016	<0.016	<0.016	<0.016	<0.016	<0.016
シミュレーション値 (標準シナリオ)	0.20	0.20	0.20	0.19	0.19	0.19	0.18	0.20	0.20	0.19	0.19	0.18
シミュレーション値 (実気象条件)	0.71	0.71	0.56	0.53	0.50	0.45	0.32	0.56	0.53	0.50	0.45	0.32

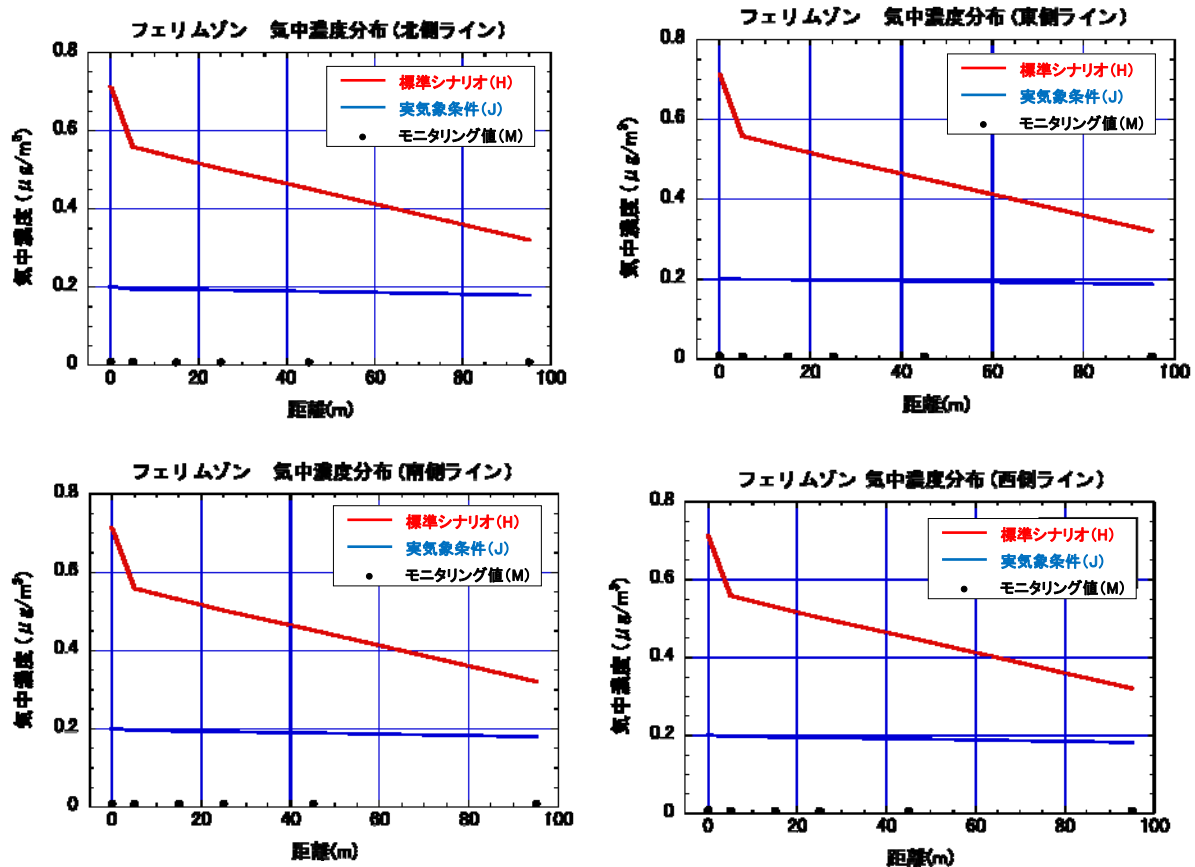


図 4-23 気中濃度分布の計算値とモニタリング値との比較（散布 1 日後 13:00~14:00）

(6) 大気経路ばく露評価シミュレーションモデルの検証結果¹¹⁾

実気象条件及び標準シナリオでのシミュレーションモデルによる農薬の飛散分布評価と経時的な推移の評価を行った結果、モニタリング値より低くなることはなく、4 (1) の大気経路ばく露評価シミュレーションモデルの検証方法で設定した下記の想定を満足することが確認され、シミュレーションモデルを用いた評価は妥当なものであると判断した。

$$\text{シミュレーション値 (H)} > \text{シミュレーション値 (J)} \geq \text{モニタリング値 (M)}$$

5. 高次評価のためのシミュレーションモデルの検討（フェリムゾン）

より精度の高い（モニタリング値に近い）シミュレーション結果が得られるよう、平成 26 年度に高次評価オプションの追加について検討を行った¹¹⁾。第 1 段階のシミュレーションモデルでは農薬の消失要因として大気への揮散のみを考慮したものであったことから、第 2 段階のシミュレーションでは農薬の水田中での半減期及び作物体への吸着を考慮することとした。

半減期は農薬抄録のデータを用いた。作物体への付着率は平成 26 年度に実施したモニタリング調査における実測値¹¹⁾に基づき散布量の 61.6%としてシミュレーションを行った。

表 4-6 シミュレーションによる計算結果の比較

●散布中： 8 月 9 日 14:50-15:20

気中濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	区域内1	区域内2	区域内3	北側ライン		東側ライン		南側ライン		西側ライン	
				15 m	45 m	15 m	45 m	15 m	45 m	15 m	45 m
モニタリング値	2.68	1.52	1.91	<0.016	<0.016	<0.016	<0.016	0.6	0.05	0.4	0.1
シミュレーション値 (標準シナリオ)	14.2	14.2	14.2	1.98	1.57	1.98	1.57	1.98	1.57	1.99	1.57
シミュレーション値 (実気象条件)	17.5	19.1	17.6	0.192	0.178	2.20×10^{-2}	1.80×10^{-2}	1.44×10^{-2}	1.16×10^{-2}	1.20	0.960
水田中半減期	17.5	19.1	1.76	0.192	0.178	2.20×10^{-2}	1.80×10^{-2}	1.44	1.16	1.20	0.960
稲体付着	6.72	7.33	6.78	7.38	6.84	8.45×10^{-3}	6.92×10^{-3}	0.554	0.447	0.460	0.368

●散布終了から 1 時間後（15:20-16:20）

気中濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	区域内1	区域内2	区域内3	北側ライン		東側ライン		南側ライン		西側ライン	
				15 m	45 m	15 m	45 m	15 m	45 m	15 m	45 m
モニタリング値	2.20×10^{-2}	2.20×10^{-2}	9.00×10^{-3}	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	0.866	7.00×10^{-2}	<0.008
シミュレーション値 (標準シナリオ)	0.714	0.714	0.714	0.531	0.452	0.531	0.452	0.531	0.452	0.531	0.452
シミュレーション値 (実気象条件)	1.56	0.782	1.49	1.62	0.729	6.30×10^{-2}	5.60×10^{-2}	0.741	3.00×10^{-3}	1.34	1.12
水田中半減期	1.47	0.736	1.40	1.45	0.686	5.90×10^{-2}	5.30×10^{-2}	0.697	3.00×10^{-3}	1.26	1.06
稲体付着	0.565	0.283	0.539	0.559	0.264	2.27×10^{-2}	2.04×10^{-2}	0.268	1.15×10^{-3}	0.483	0.406

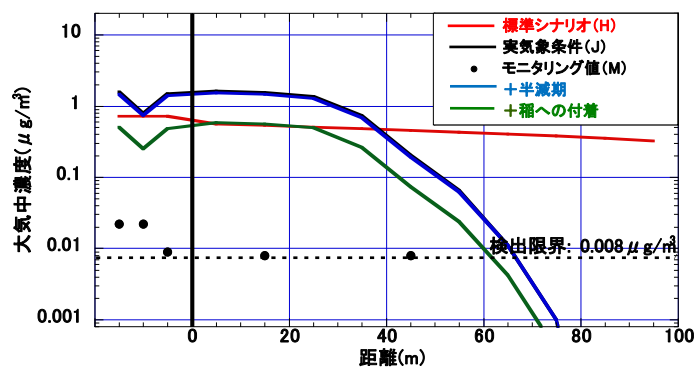
表の見方：標準シナリオ＝第 1 段階のシミュレーションで求められた値

実気象条件＝標準シナリオのシミュレーション値を調査年度の気象条件を用いて補正した値

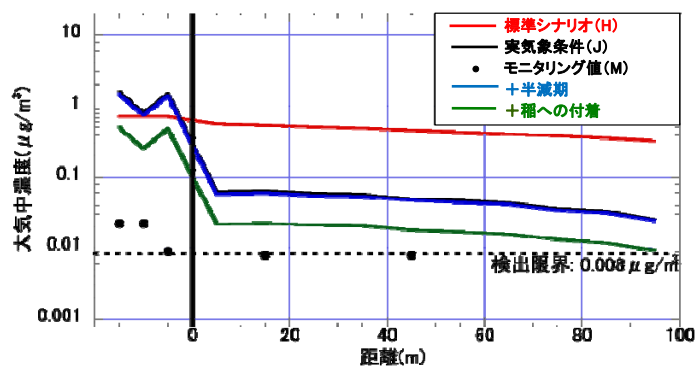
水田中半減期＝前項の実気象条件の補正值に水中半減期を考慮した値

稲体付着＝前項の水中半減期を考慮した値にさらに稲体（作物体）への付着を考慮した値

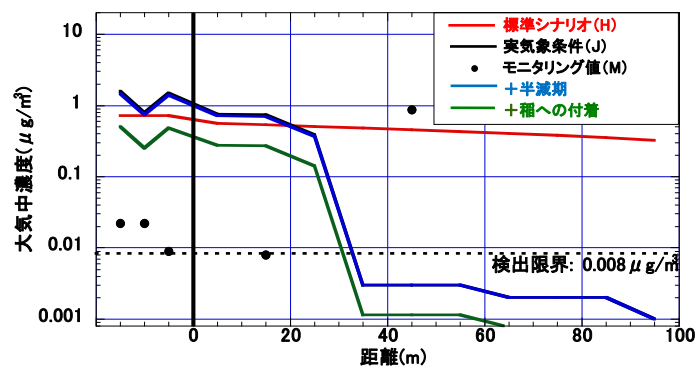
北側ライン



東側ライン



南側ライン



西側ライン

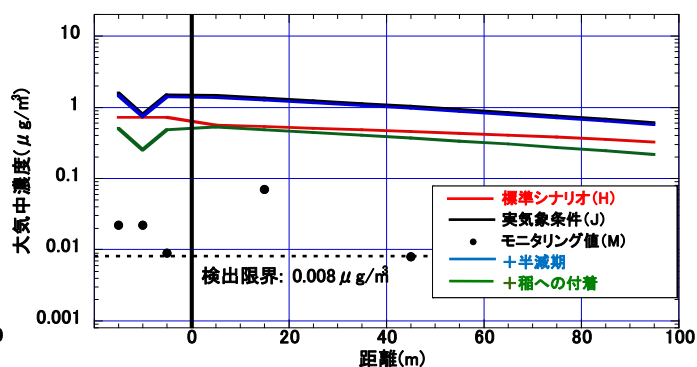


図 4-24 シミュレーションによる計算結果の比較（散布終了から 1 時間後 15:20～16:20）

参考文献

- 1) Teske, M. E., et al.: AgDrift®: A model for estimating near-field spray drift from aerial applications, *Environmental Toxicology and Chemistry* 21(3): 659-671 (2002)
- 2) Bird, S. L., et al.: Evaluation of the AgDISP aerial spray algorithms in the AgDRIFT model, *Environmental Toxicology and Chemistry* 21(3): 672-681 (2002)
- 3) Wang, L., et al.: Comparison of CALPUFF and ISCST3 models for predicting downwind odor and source emission rates, *Atmospheric Environment* 40(25): 4663-4669 (2006)
- 4) Indumati, S., et al.: Dispersion of pollutants over land-water-land interface: Study using CALPUFF model, *Atmospheric Environment* 43(2): 473-478 (2009)
- 5) Leclerc, M. Y., et al.: Footprint prediction of scalar fluxes using a Markovian analysis, *Boundary-Layer Meteorology* 52(3): 247-258 (1990)
- 6) 平成 22 年度農薬の大気経路による影響評価事業（企画業務）報告書 平成 23 年 3 月
- 7) 平成 23 年度農薬の大気経路による影響評価事業（企画業務）報告書 平成 24 年 3 月
- 8) 平成 24 年度農薬の大気経路による影響評価事業（企画支援業務）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 平成 25 年 3 月
- 9) 平成 25 年度農薬の大気経路による影響評価事業（企画支援業務）報告書 平成 26 年 3 月
- 10) Mackay, D., et al.: Mass transfer coefficient correlations for volatilization of organic solutes from water, *Environmental Science and Technology* 17(4) 211-217 (1983)
- 11) 平成 26 年度農薬の大気経路による影響評価事業（企画支援業務）報告書 平成 27 年 3 月

第5章 農薬リスク評価・リスク管理

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」及び第4章で行った「無人ヘリコプター散布農薬に係る大気経路ばく露評価」を踏まえ、本章では、「経気道による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」の方法を記載し、さらに、この方法に基づいたリスク評価の結果とリスク管理措置の検討結果を示す。

1. リスク評価の方法

各農薬の経気道によるばく露について、以下に示す距離及び時間の条件下でシミュレーションを実施した際に得られたばく露濃度と、毒性試験から得られた気中濃度評価値とを比較し、下記の条件を満たすかどうかを評価した。

推定ばく露濃度 < 気中濃度評価値

気中濃度評価値は28日間反復吸入毒性試験から算出されているが、一般に反復毒性試験は急性毒性試験よりも少ない被験物質のばく露濃度で影響が発現する（毒性影響は強くなる）と考えられることから、気中濃度評価値がシミュレーションの推定ばく露濃度を上回っていれば、短期（急性）吸入ばく露についても問題ないものとした。

また、評価は以下の2段階で実施することとした。

<第1段階評価>

第3章における反復吸入毒性試験から算出した気中濃度評価値が、(1)で定めた評価地点におけるシミュレーション推定ばく露濃度を上回ることを確認する。

<第2段階評価>

第1段階評価において安全性が確認できなかった場合には、以下の①、②の方法でリスク評価を行う。

- ① シミュレーションモデルを用いたばく露量推計について、より現実的な状態（農薬の水田中での半減期及び稲体への付着を考慮）のシナリオを想定し、第1段階評価で得られた評価値との比較を行う。
- ② ①でも安全性が確認出来なかった場合には、急性経口投与毒性試験のデータをもとにARFD値等（食品安全委員会でARFD値が算出されている場合はそれを活用）を算出し、経口と経気道での薬物動態の差異を考慮した上で、適切な安全係数を付与し、急性の経気道評価値を算出する（急性吸入毒性試験のデータも参考にする）。得られた評価値とシミュレーションによる推定ばく露濃度を比較することでリスク評価を行う。

なお、第2章で述べたように、本事業では散布に係るマスク等の防護装備を付けていない一般市民をリスク評価対象者とし、人へのばく露は、1日24時間×28日間の長期間が想定されている。ラットにおける反復吸入毒性試験では、ガイドラインにおいて、1日6時間、週5日間のばく露を行うことと定められていることから、動物試験で算出された無毒性量と、人で想定する1日24時間×28日間を一致させるため、気中濃度評価値の算出に当たっては、6/24時間×5/7日の補正を行い、より安全側に立った値となっていることに留意が必要である。これらのことから、気中濃度評価値以下の濃度であれば、28日間吸入を続けたとしても人の健康に対するリスクは想定されず、仮に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必要がある。

(1) 評価地点

航空法（昭和 27 年法律第 231 号、第 132 条の 2 第 3 号）及び航空法施行規則（昭和 27 年運輸省令第 56 号、第 236 条の 4）において、無人ヘリコプターは人及び物件から 30 m 以上離れて飛行することが標準的に定められている（図 5-1 参照）。以上の理由から、散布中の経気道へのばく露リスク評価は、風下側散布場所の縁から 20～30 m 地点を評価地点とした。

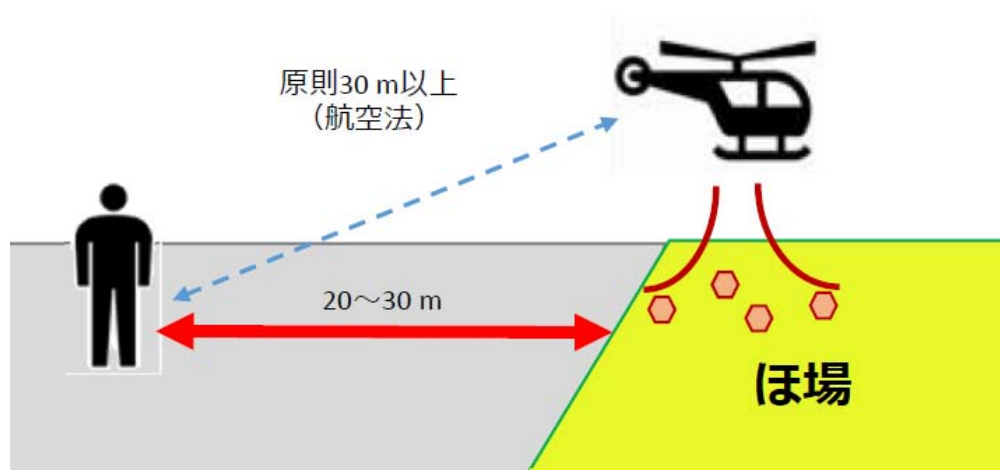


図 5-1 無人ヘリコプター散布のリスク評価のシナリオ概略図

(2) 評価時間

1) 短期ばく露（散布中から 24 時間後まで）

ばく露濃度については、散布当日を 0 日、散布時刻（仮定）の午前 4 時を 0 時間とし、散布開始から 24 時間後までの 1 時間ごとの平均ばく露濃度を求めた。

2) 長期ばく露（散布日から 28 日間）

散布当日を 0 日、散布時刻（仮定）の午前 4 時を 0 時間とし、翌日以降は 12 時から 13 時の 1 時間の平均ばく露濃度を求めた。

2. リスク評価及びリスク管理

(1) リスク評価

1) 短期ばく露に係る評価

各農薬の毒性試験から得られた気中濃度評価値と散布場所の縁からの距離 20～30 m における散布中の平均ばく露濃度を比較し、表 5-1 にまとめた（個別の評価の詳細については、参考資料 7「気中濃度評価値とばく露濃度（シミュレーション値）の比較によるリスク評価」参照）。

表 5-1 吸入毒性試験対象農薬の散布中の気中濃度評価値と推定ばく露濃度

農薬成分名	気中濃度評価値 ¹⁾ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	距離 20～30 m における 推定ばく露濃度 散布中 (0～1 時間) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	推定ばく露濃度／気中 濃度評価値×100 (%)
エトフェンプロックス	450	1.20	0.267
クロチアニジン	188	0.39	0.207
クロマフェノジド	195	0.15	0.077
ジノテフラン	5,200	0.59	0.011
シラフルオフェン	1,054	1.45	0.138
フェニトロチオン	6.79	3.28	48.3
フェノキサニル	286	0.30	0.105
フェノブカルブ	1.25	3.10 (1.19) ²⁾	248 (95.2)
フェリムゾン	389	1.53	0.393
フサライド	350	1.52	0.434
ブプロフェジン	200	1.19	0.595
メプロニル	1,102	2.37	0.215

1) 第 3 章における反復吸入毒性の無毒性量及び安全係数から算出された値。

2) () 内は稲体付着を考慮した第 2 段階のシミュレーション値。

表 5-1 の気中濃度評価値と推定ばく露濃度の比較結果に基づき、以下のように各剤の第 1 段階と第 2 段階の評価を行った。

<第 1 段階評価>

上表に示すように反復吸入毒性試験から得られた気中濃度評価値 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) とシミュレーションから得られた評価地点 (散布場所の縁から 20～30 m) の距離の散布中の平均ばく露濃度を比較したところ、エトフェンプロックス、クロチアニジン、クロマフェノジド、ジノテフラン、シラフルオフェン、フェノキサニル、フェリムゾン、フサライド、ブプロフェジン及びメプロニルについては、いずれも推定されるばく露濃度は気中濃度評価値の 1 %未満 (0.011 から 0.595%) であり、これらの剤については無人ヘリコプターによる散布において人への健康影響が懸念される可能性は極めて低いと判断された。また、フェニトロチオンについては気中濃度評価値の 48.3%であったが、シミュレーションのばく露量並びに毒性試験から得られた気中濃度評価値ともに十分に安全量が見込まれていることから、人への健康影響が懸念される可能性は十分低いと判断された。

一方、フェノブカルブについては、気中濃度評価値 $1.25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ に対して散布中 (0～1 時間) の散布場所の縁から 20～30 m の推定ばく露濃度が $3.10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、散布中の推定ばく露濃度で気中濃度評価値の超過がみられたため、第 2 段階評価を実施した。

フェノブカルブの第 1 段階の 0～100 m の各地点におけるシミュレーション値は表 5-2 のとおりである。

表5-2 フェノブカルブの散布中の0～100 mの距離別ばく露濃度（第1段階）

（気中濃度評価値 1.25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）

散布場所の 縁からの 距離 (m)	シミュレーションによるばく露濃度 (単位 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
0～10	4.36
10～20	3.61
<u>20～30</u> (評価地点)	<u>3.10</u>
30～40	2.84
40～50	2.68
90～100	2.28

<第2段階評価>

フェノブカルブについては、シミュレーションモデルを用いたばく露量推計について、より現実的な状態（稲体への農薬の付着を考慮）のシナリオを想定し、ばく露濃度を計算した。なお稲体への付着率には、農薬の粒径が影響を与えるが、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の種類と薬液の希釈倍率とはほとんど関係しないことから、フェリムゾンの実測調査で得られた61.6%の付着率を用いた。その結果、散布中（0～1時間）の推定ばく露濃度は1.19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、気中濃度評価値（1.25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）を下回っていたことから、無人ヘリコプターによる散布において、航空法に規定する標準的な人や物件との距離（30 m）を保ち、農薬を適正に使用する限り、人への健康影響が懸念される可能性は低いと判断された。一方、より近接した地点（0～10 m および 10～20 m）の地点においては、気中濃度評価値の超過が見られた。

表5-3 フェノブカルブの散布中の0～100 mの距離別ばく露濃度（第2段階）

（気中濃度評価値 1.25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）

散布場所の 縁からの 距離 (m)	シミュレーションによるばく露濃度 (単位 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
0～10	1.68
10～20	1.39
<u>20～30</u> (評価地点)	<u>1.19</u>
30～40	1.09
40～50	1.03
90～100	0.87

2) 長期ばく露に係る評価

各農薬の毒性試験から得られた気中濃度評価値と散布場所の縁からの散布当日を0日、散布時刻（仮定）の午前4時を0時間とし、翌日以降は12時から13時の1時間の平均ばく露濃度と比較した。その結果、いずれの剤も、散布後のばく露濃度は急速に減衰し、十分な安全量のマージンが得られた（参考資料7「気中濃度評価値とばく露濃度（シミュレーション値）の比較によるリスク評価」参照）。

(2) リスク管理措置の検討

気中濃度評価値は28日間の反復吸入ばく露を想定して設定しており、一般的に反復毒性試験は急性毒性試験よりも少ない被験物質のばく露濃度で影響が発現する（毒性影響は強くなる）と考えられることから、当該評価値を用いた短期ばく露評価結果は十分な安全を見ているといえるが、(1)のリスク評価の結果、フェノブカルブについては、ほ場の縁から0～20 mでのシミュレーションでは、散布中（散布開始から1時間）の気中濃度が気中濃度評価値を超えることが予測されていることから、以下のリスク管理措置をとることが望ましいと判断された。

- ◆ 学校、住宅、公園、公道等に近接するほ場で当該農薬を使用する必要がある場合には、これらの施設に近い側から散布を開始し、住民の活動開始までに十分な余裕をもって終了する。
- ◆ 周辺に学校、住宅、公園、公道等が近接している場合には、他の農薬での代替ができないかどうかを検討する。
- ◆ これらの措置がとれない場合には、農薬散布後1時間を目安に、散布ほ場周辺（散布箇所から20 m以内を目安）においてばく露防止措置を講じる。
適切なばく露防止措置の例としては以下のものが考えられる。
 - 人の立入制限（屋外）
 - 立入制限が困難である場合には、当該区域内において屋外に長く留まらないよう住民に対する事前周知及び立て看板や旗による区域の提示等

第6章 まとめ

無人ヘリコプターによる農薬散布は農作業の効率化や低コスト化につながるとともに、地域全体で発生する病虫害の効率的な防除が可能であることなどから増加傾向にあり、中でも水稻の病虫害防除においては主要な手段の一つとなっている。しかしながら、散布に係る周辺の住民に対する健康影響については情報が不足していることから、本事業において大気経路による飛散リスクの評価を行った。

リスク評価対象者は、マスク等の防護装備を付けていない一般市民（通行者及び近隣住民）とし、人が散布開始から 28 日間経気道によりばく露した場合の影響について評価を行った。評価対象農薬は、無人ヘリコプターによる水稻での使用量が多い農薬のうち、反復吸入毒性試験のデータが得られた 12 剤を選定した。

農薬の毒性評価については、反復吸入毒性試験から得られた無毒性量を基に、種差、個体差等を考慮した安全係数の設定や試験設計に応じた補正を行い、気中濃度評価値を算出した。

大気経路のばく露評価については、無人ヘリコプターにより散布された農薬の大気経路のばく露量を推計するため、大気経路ばく露評価シミュレーションモデルを開発した。シミュレーションモデルは、農薬ごとの物理化学的性質を変数とし、また、現実的な範囲でワーストケースとなるよう風向や立地等の条件を標準シナリオとして設定した。さらに、より精緻なシミュレーションとして、農薬の水田中での半減期及び稲体への付着を条件として考慮できるように設計した。

リスク評価は、上記の毒性評価及び大気経路ばく露評価を踏まえ、気中濃度評価値と評価地点（航空法令の規定を基に、風下側散布場所の縁から 20～30 m 地点を評価地点として設定）におけるシミュレーションによるばく露濃度との比較により実施した。その結果、評価対象農薬 12 剤中 11 剤については、評価地点の散布中のばく露濃度は、気中濃度評価値を下回り、また、散布後のばく露濃度は急速に減衰したことから、これらの剤については無人ヘリコプターによる散布において人への健康影響が懸念される可能性は極めて低いか十分低いと考えられた。

他方、フェノブカルブについては、第 1 段階の評価では評価地点における散布中のばく露濃度が気中濃度評価値を上回っていたため、稲体への付着を考慮した第 2 段階評価を実施した。その結果、散布中においては、ほ場の縁から 20～30 m の評価地点より近接した 0～20 m の地点では気中濃度評価値の超過が見られたものの、20～30 m の評価地点では気中濃度評価値を下回っていたことから、無人ヘリコプターによる散布において、航空法に規定する標準的な人や物件との距離（30 m）を保ち、農薬を適正に使用する限りにおいては、人への健康影響が懸念される可能性は低いと判断された。

今回の評価は、散布中の一時的なばく露についての急性の吸入毒性情報に制約がある中で実施したものであり、より安全側に立った評価を実施しているが、フェノブカルブについては、評価地点よりも近接した場所での散布中の影響の有無については明らかでないことから、より安全性を高めるためのリスク管理措置を提案した。

地域の実情等に即した適切なリスク管理を進めるためには、リスク評価の結果を農薬散布実施者、航空防除関係機関、関係行政機関及び散布地域の住民へ周知し、十分な理解を得ることが重要である。今後、本事業の成果が活用され、国、都道府県及び航空防除関係機関が連携して、現場への周知や指導を適切に行うことを期待する。

リサイクル適性の表示：紙へリサイクル可

この報告書は、グリーン購入法に基づく基本方針における「印刷」に係る判断の基準にしたがい、印刷用の紙へのリサイクルに適した材料 [A ランク]のみを用いて作製しています。