

5-1303 日本型農業環境条件における土壌くん蒸剤のリスク削減と管理技術の開発

(3) 千葉県露地畑における土壌くん蒸剤のリスク削減技術の現地実証に関する研究

千葉県農林総合研究センター

土壌環境研究室

病理昆虫研究室

山本幸洋・原田浩司

横山とも子（平成25年度のみ）・

武田 藍・國友映理子（平成26、27

年度のみ）

平成25～27年度累計予算額：11,876千円（うち平成27年度：3,556千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

黒ボク土の露地畑において、農業生産現場における広域及び圃場周辺の大気中のクロロピクリン濃度を明らかにした。また、土壌くん蒸時の被覆にガスバリア性フィルムを用いることで、大気中の土壌くん蒸剤濃度を慣行のポリエチレン製フィルム被覆時と比べて数十分の一に低減できることを明らかにし、農業生産現場において実証した。また、ガスバリア性フィルムで被覆することで、土壌におけるくん蒸剤の積算濃度の上昇により、薬効が向上した。

[キーワード]

黒ボク土、クロロピクリン、1,3-ジクロロプロペン、ガスバリアー性フィルム、積算濃度

1. はじめに

土壌くん蒸は土壌病害虫防除の基幹技術であり、安定した農業生産を行う上で重要な位置を占める。しかし、土壌くん蒸剤は揮発性が高く、目や鼻などを刺激するため、農地と住宅地の混在化が進む現状ではより高い安全性が求められている。平成25年度の千葉県における土壌くん蒸剤の出荷量（有効成分換算）は、1,3-ジクロロプロペンが1,433kL、クロロピクリンが400kL及びメチルイソチオシアネート（ダズメット、カーバム、カーバムナトリウム塩を含む）が80tであり、それぞれ全国で1位、5位及び6位を占めている。これらのことから、圃場周辺の住民に対してより安全で、土壌病害虫に対してより効果的な土壌くん蒸剤の使用方法を開発する必要がある。

土壌くん蒸時のガスバリアー性フィルムを用いた被覆は、土壌くん蒸剤の大気への揮散を低減するリスク削減技術として、また、土壌病害虫に対する薬効を向上させる技術として注目されている。しかし、そうしたガスバリアー性フィルム被覆の効果は土壌の種類によって異なることが予測される。我が国の代表的な畑土壌である黒ボク土は、千葉県において畑面積の75%を占める¹⁾。黒ボク土は、他の土壌と比べて全孔隙率、全炭素含量及び含水率が高いなど、土壌くん蒸剤の動態を左右する性質を持っている。このため、ガスバリアー性フィルム被覆による土壌くん蒸剤の大気への揮散低減と薬効の向上を評価するにあたり、黒ボク土を対象土壌とする必要性は高い。

2. 研究開発目的

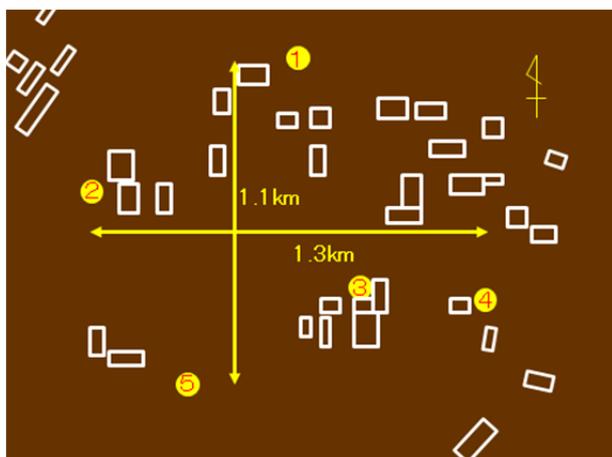
本サブテーマでは、最初に、黒ボク土の農業生産現場における大気中の土壤くん蒸剤濃度の現状を把握する。次に、黒ボク土の露地畑におけるガスバリアー性フィルムの被覆とチオ硫酸塩による土壤くん蒸剤の揮散低減効果を評価し、農業生産現場において実証する。さらに、ガスバリアー性フィルムの被覆による土壤くん蒸剤の薬効の向上効果を評価し、そのメカニズムを明らかにする。

3. 研究開発方法

(1) 農業生産現場における広域の大気中クロルピクリン濃度

本試験では、土壤くん蒸剤を使用する農業生産現場において、広域の大気中クロルピクリン濃度を明らかにする。また、「サブテーマ(6)シミュレーション手法を用いた土壤くん蒸剤の大気中における動態把握とリスク削減技術の適用評価」に資することを目的とする。

調査は2015年1月7日～3月3日に千葉県のスイカ生産地A市で実施した。スイカ栽培では1～2月にホモブシス根腐病等を防除対象としたクロルピクリンによる土壤くん蒸を実施することが多い。調査地域の規模は南北1.1km、東西1.3kmである(図(3)-1)。調査期間の風向は概ね北西である。大気中クロルピクリン濃度の測定を調査地域内に5箇所設置し、地上60cmで大気を採取した。測定地点はいずれも生産者の自宅や作業場等に隣接している。大気中の土壤くん蒸剤は、捕集管(SK社226-170)を用いて定流量ポンプ(流量0.15L/min)で吸引捕集し、捕集時間を24時間とした。また、連続捕集装置(パーキンエルマー社製STS25型)を用い(図(3)-2)、捕集管の回収頻度を週1回程度とした。捕集管内のクロルピクリンは、酢酸エチルを用いて溶出させてGC/ECD法により定量した。



図(3)-1 調査地域の概念図

注) ①～⑤の番号は調査地点、白枠はスイカ栽培圃場を示す



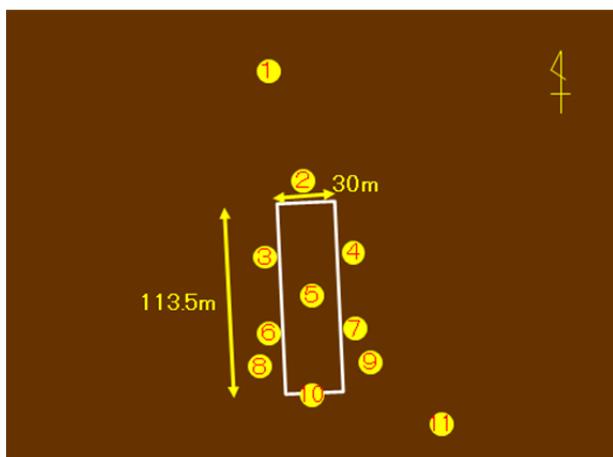
図(3)-2 調査に用いた連続捕集装置

(2) 農業生産現場の圃場周辺における大気中のクロルピクリン濃度

土壤くん蒸剤を使用する農業生産現場の圃場周辺における大気中のクロルピクリン濃度を明らか

にする。また、「サブテマ(6)シミュレーション手法を用いた土壌くん蒸剤の大気中における動態把握とリスク削減技術の適用評価」に資することを目的とする。

調査は2015年1月7日～13日とし、調査場所は千葉県A市のスイカを栽培する予定の圃場（面積34a）である（図(3)-3）。くん蒸の方法は、現地の慣行法による畦幅230cmのマルチ畦内処理（土壌くん蒸に用いたフィルムをそのまま栽培用に利用し、ガス抜きを耕うんを行わない）であり、供試農薬はクロロピクリン80.0%油剤、使用量は30L/10aである。供試農薬の注入位置は、30cm間隔の地表下30cmとした。供試農薬の土壌への注入は1月6～8日に行ない、被覆資材はポリエチレン製フィルム（厚さ0.03mm）を用いた。また、くん蒸開始日あるいはその翌日に、マルチの上部に間口230cm、高さ145cmの大型トンネル（被覆は塩化ビニル製、厚さ0.075mm）を設置した（図(3)-4）。大気中の土壌くん蒸剤濃度を測定する高さは地上1.2mと0.6mとした。大気中の土壌くん蒸剤は、捕集管（SKC社226-175）を用いて定流量ポンプ（流量0.4L/min）で吸引捕集し、捕集時間を日中4時間、夜間を16時間とした。捕集したクロロピクリンは、酢酸エチルを用いて溶出させてGC/ECD法により定量した。



図(3)-3 調査圃場及び調査地点の概念図
注) ①～⑩の番号は調査地点、白枠は土壌くん蒸した圃場を示す

図(3)-4 調査圃場のマルチと大型トンネル

(3) ガスバリアー性フィルム被覆による大気中の土壌くん蒸剤濃度低減効果

ガスバリアー性フィルムで被覆による大気中の土壌くん蒸剤濃度低減効果を明らかにする。

試験は2014年11月11～21日に千葉県農林総研究センターの露地畑（土壌：腐植質普通黒ボク土）で実施した（図(3)-5）。試験区の構成は、ガスバリアー性フィルム（商品名：ハイバリアー、岩谷マテリアル製）で被覆するバリアー区と慣行のポリエチレン製フィルムで被覆するポリ区との2区とし、反復は設けなかった。フィルムの厚さは両区とも0.02mmである。また、大気中の土壌くん蒸剤が区間で混合することを避けるため、両区を約300m離れた2圃場に設置した。

供試農薬は1,3-ジクロロプロペン54.5%+クロロピクリン41.5%油剤（商品名：ソイリーン）とした。土壌くん蒸剤の注入位置は30cm間隔（千鳥状）の地表下15cmとし、使用量を3mL/穴とした。大気中濃度の測定位置は、試験区（面積113㎡）の中心と試験区の四辺の中央（ベッド端から0.5mの位置）の地上1.2mで、計5点とした。大気中の土壌くん蒸剤は、捕集管（SKC社226-175）

を用いて定流量ポンプ（流量0.4L/min）で吸引捕集し、捕集時間を4又は6時間とした（図（3）-6）。分析種は、酢酸エチルで溶出させてGC/ECD法により定量した。



図（3）-5 ガスバリア性フィルムによる大気の土壤くん蒸剤濃度低減効果試験状況



図（3）-6 大気中の土壤くん蒸剤捕集状況

（4）黒ボク土におけるチオ硫酸塩を用いた土壤くん蒸剤の分解促進

ガスバリア性フィルムを用いた土壤くん蒸剤の揮散低減技術は、くん蒸終了時の土壤中に薬剤がより多く残留することが懸念される。ここでは、くん蒸終了時に残留する薬剤をチオ硫酸アンモニウム（以下、ATS）により分解促進し、揮散を低減させる技術を評価する。試験は2015年11月11～13日に千葉県農林総合研究センターの露地畑で実施した。試験区の構成は、ATS処理区、水のみ処理区、無処理区の3区3反復である。

供試農薬は1, 3-ジクロロプロペン54.5%+クロルピクリン41.5%油剤とした。使用量は土壤くん蒸終了時の濃度が下がった状況を想定して1 mL/穴とした。ATSの処理量は、24時間後に土壤気相中濃度を1/100とすることを目標に60g/m²とした（「サブテーマ(1)土壤くん蒸剤の化学的分解促進技術の開発と土壤中ガスの評価に関する研究」の結果から算出）。

処理方法は、1区当たりのATSを純水に溶解し、供試農薬を注入後に地表面に処理した（1L/m²）。ATS処理後、ガスバリア性フィルム（上記試験（3）と同じ）で被覆し、被覆直下の大気、地表下10cm、20cmの気相を採取した。被覆直下の大気の採取は、チューブ（PTFE製、長さ2m、内径1/16インチ）の一端を測定位置に固定し、もう一端を被覆外に誘導して実施した。地表下10cm及び20cmの土壤気相の採取は、地表から横穴式注射針を挿入し、これに地表面と同じチューブを接続して被覆外に誘導して実施した。被覆外のチューブの末端はセプタムにより密封し、試料の採取はセプタムにガスタイトシリンジを挿入して行った。最初にヘッドスペース（チューブの内容積）の2倍（約8mL）を吸引、廃棄後、ガスタイトシリンジを用いて2mLを採取した。採取した気体は、即時ヘッドスペース用褐色バイアル（10mL容）に入れたヘキサン8mLに注入した。測定日は、土壤く

ん蒸剤処理前、処理直後、処理後1、2日とした。土壤くん蒸剤の定量は、GC/ECD法を用いた。

(5) ガスバリアー性フィルム被覆による黒ボク土の気相及び被覆直下の大気における土壤くん蒸剤濃度の上昇効果

土壤くん蒸時にガスバリアー性フィルムで被覆することにより、周辺環境への揮散低減に加えて土壤中でくん蒸剤濃度が上昇して薬効が向上し、使用量を削減できることが期待される。ここでは、ガスバリアー性フィルム被覆による黒ボク土の気相及びフィルム直下の大気における土壤くん蒸剤濃度の上昇効果を明らかにする。

試験は2013年11月5～15日に千葉県農林総合研究センターの露地畑で実施した。試験区は、ガスバリアー性フィルムで被覆するバリアー区とポリエチレン製フィルムで被覆するポリ区の2区4反復である。フィルムの厚さは両区とも0.02mmとした。使用したガスバリアー性フィルム、供試農薬、その注入位置及び使用量は上記試験(3)と同じである。各区の被覆直下の大気、地表下10cm、20cmの気相を採取し、土壤くん蒸剤濃度を測定した。被覆直下の大気及び土壤気相の採取方法及び土壤くん蒸剤の定量方法は上記試験(4)と同じである。

(6) ガスバリアー性フィルム被覆による土壤くん蒸剤の薬効向上効果

ガスバリアー性フィルム被覆による土壤くん蒸剤の薬効向上効果と使用量を削減した時の漏洩量低減効果を明らかにする。

試験日は夏試験を2014年8月26日～9月8日、冬試験を2014年12月7日～2015年1月13日とした。試験場所は千葉県農林総合研究センターの露地畑とした。供試農薬はクロルピクリン80%油剤とした。試験区の構成は、ガスバリアー性フィルム(商品名:ハイバリアー、岩谷マテリアル社製)で被覆するバリアー区と、慣行のポリフィルムで被覆するポリ区を設け、両区ともに使用量を3、2、1、0mL/穴区とする8区3反復とした。バリアー性フィルムには商品名ハイバリアー(岩谷マテリアル製)を用い、フィルムの厚さは全区で0.02mmとした。また、土壤くん蒸剤の注入位置は30cm間隔の地表下15cmとした。

薬効を評価するため、サツマイモネコブセンチュウ被害残渣を培土と混合して不織布製の袋に充填し、土壤くん蒸前に地表下20cmに埋設した。土壤くん蒸後に埋設試料を回収し、キュウリ幼苗を用いた生物検定を行った。また、土壤気相のクロルピクリン濃度と薬効との関係を明らかにするため、残渣の埋設位置において土壤気相のクロルピクリン濃度を経時的に測定した。さらに、被覆表面からの漏洩するフラックスを被覆資材の物質移動係数(「サブテマ(1)土壤くん蒸剤の化学的分解促進技術の開発と土壤中ガスの評価に関する研究」で測定)を用いて算出するため、被覆直下の大気中クロルピクリン濃度と被覆資材の温度を測定した。被覆直下の大気と土壤気相の採取方法及びクロルピクリンの定量方法は上記試験(4)と同じである。

(7) 土壤くん蒸剤の薬効に関するメカニズムの検証

土壤くん蒸剤の薬効に関するメカニズムを室内試験で検証した。用いた試験系は、20mL容の褐色バイアルに15mLの水を入れ、供試土壤病害虫を浸漬後、アセトンで処理濃度の100倍に調製した供試薬剤を150 μ L注入し、密封して所定の温度と期間で静置するものである。

1) 土壤くん蒸剤暴露時の温度の影響を検証することを目的とした。供試農薬としてクロルピクリンを、供試病害虫としてサツマイモネコブセンチュウ(*Meloidogyne incognita*)二期幼虫とウリ類ホモプシス根腐病菌(*Phomopsis sclerotioides*)を用いた。暴露条件は温度を5、15、25 $^{\circ}$ Cとし、暴露時間を48時間とした。試験は5反復で行った。サツマイモネコブセンチュウは処理後、

目合い25 μ mの網で線虫を回収し、水中で25 $^{\circ}$ C24時間安定化させた。目合い100 μ mの網で運動性のある個体のみを抽出し、その割合から用量-反応曲線を作成した。暴露に用いたウリ類ホモプシス根腐病菌は、培地上の菌叢を直径7mmのコルクボーラーで打ち抜いたものとした。暴露後、菌叢をPSA培地上に置き、25 $^{\circ}$ Cで96時間培養後、生育の有無及び菌叢の直径を計測し、用量-反応曲線を作成した。

2) 土壌くん蒸剤の積算濃度がサツマイモネコブセンチュウ二期幼虫に及ぼす影響を検証した。供試農薬はクロルピクリン、1,3-ジクロロプロペン及びMITCとした。試験条件は、暴露濃度0、2、20、200ppmと暴露時間1、3、9、24、48時間を組み合わせた。暴露温度を25 $^{\circ}$ Cとし、反復数を3とした。供試するサツマイモネコブセンチュウは二期幼虫とし、1サンプル(15mL)当たり200頭程度に調製した。所定の条件で暴露後、上記試験(7)-1と同様に処理した。

(8) 農業生産現場におけるガスバリアー性フィルムを用いた土壌くん蒸剤の揮散低減効果の実証

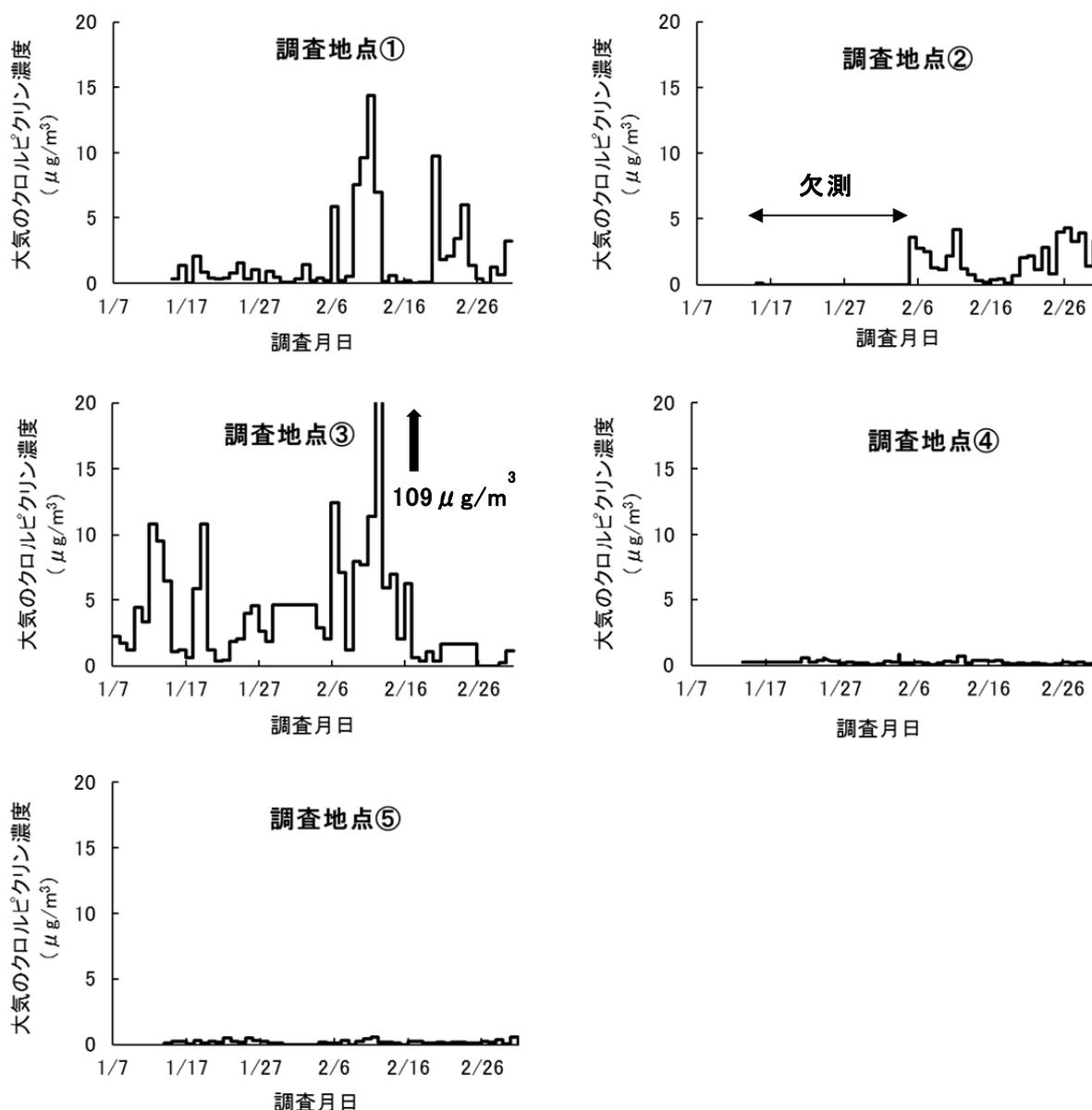
農業生産現場において、ガスバリアー性フィルムを用いた土壌くん蒸剤の揮散低減効果を実証することを目的とした。

試験は2015年2月4~28日に千葉県A市で実施した。調査圃場は、黒ボク土の露地畑で、スイカの栽培を予定していた。試験区の構成は、ガスバリアー性フィルム(商品名:バリアースター、東罐興産株式会社製、厚さ0.05mm)で被覆するバリアー区と農業生産者が慣行で使用しているポリエチレン製フィルム(厚さ0.03mm)で被覆するポリ区の2区とし、反復は設けなかった。供試農薬はクロルピクリン80.0%油剤で使用量は30L/10aである。土壌くん蒸の方法は、マルチ畦内処理(畦幅180cm)で、2月4日にくん蒸を開始した。その後、マルチ上部に間口180cm、高さ75cmのトンネル(被覆は塩化ビニル製、厚さ0.075mm)を設置した。土壌くん蒸剤の揮散低減効果は、被覆表面から漏洩するフラックスで評価した。フラックスの算出方法は上記試験(6)と同様である。被覆下の大気の採取と被覆資材の温度を測定する地点は1区2箇所とし、フラックスの算出結果は平均値で示した。

4. 結果及び考察

(1) 農業生産現場における広域の大気中クロルピクリン濃度

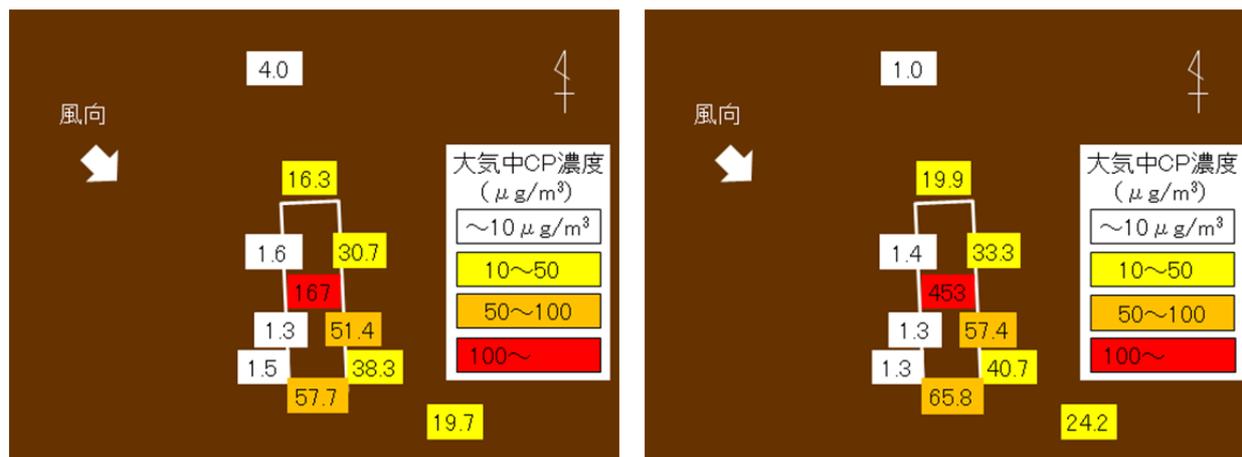
調査期間の最高濃度は、2月12～13日に調査地点③において検出された $109 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった（図(3)-7）。この値は本研究課題で設定したクロルピクリンの評価値 $490 \mu\text{g}/\text{m}^3$ （0.073ppm）を下まわった。また、この期間を除くと、全ての調査地点で $14.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ （調査地点①における2月12～13日の測定値）以下であった。調査地点間で大気中のクロルピクリン濃度に差が生じた原因を特定することはできないが、調査地点③の濃度推移が比較的高かった理由は、クロルピクリンによる土壌くん蒸を実施した圃場に隣接していたことが挙げられる。



図(3)-7 農業生産現場における広域の大気中クロルピクリン濃度

(2) 農業生産現場の圃場周辺における大気クロロピクリン濃度

試験期間における最高濃度は、地上120cmが $215 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、地上60cmが $453 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。この値は本研究課題で設定したクロロピクリンの評価値 $490 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.073ppm)を下まわった。地上60cmにおいて最高濃度となった1月10日12~16時の濃度分布を図(3)-8に示す。地上120cmと60cmの値を比較すると、圃場中央では地上60cmの値が高いが、それ以外の測定地点では大きな差は認められなかった。水平方向の分布では、圃場中央の値が最も高く、風下方向では中央から離れるに伴って濃度が減衰する傾向が認められた。

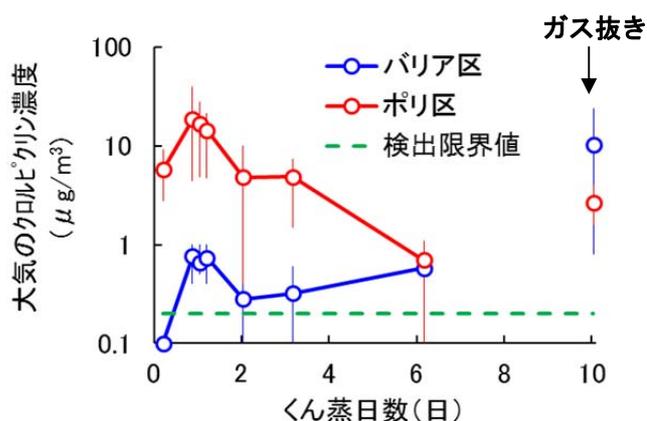


図(3)-8 圃場周辺における大気中クロロピクリン濃度の分布

- 1) 左が地上120cm、右が地上60cmの値
- 2) 測定日2015年1月10日12~16時、平均風速6.0m/s

(3) ガスバリアー性フィルム被覆による大気¹の土壤くん蒸剤濃度低減効果

クロルピクリン濃度の推移を図(3)-9に示す。被覆期間のバリアー区の最高値（5地点の平均）は、 $0.76 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、ポリ区の $18.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と比べて1/25の値であった。1,3-ジクロロプロペンも同様の傾向であった。このことから、ガスバリアー性フィルムで被覆することにより、土壤くん蒸初期の大気中濃度を数十分の一に低減できることが明らかとなった。しかし、くん蒸終了時のガス抜き時（10日目）において、バリアー区の大気中クロルピクリン濃度はポリ区と比べて高かった。このことから、土壤くん蒸時の被覆にガスバリアー性フィルムを用いる場合は、可能な限り被覆期間を長くし、被覆下において土壤くん蒸剤を分解させることが望ましい。



図(3)-9 ガスバリアー性フィルム被覆による大気¹のクロルピクリン濃度低減効果

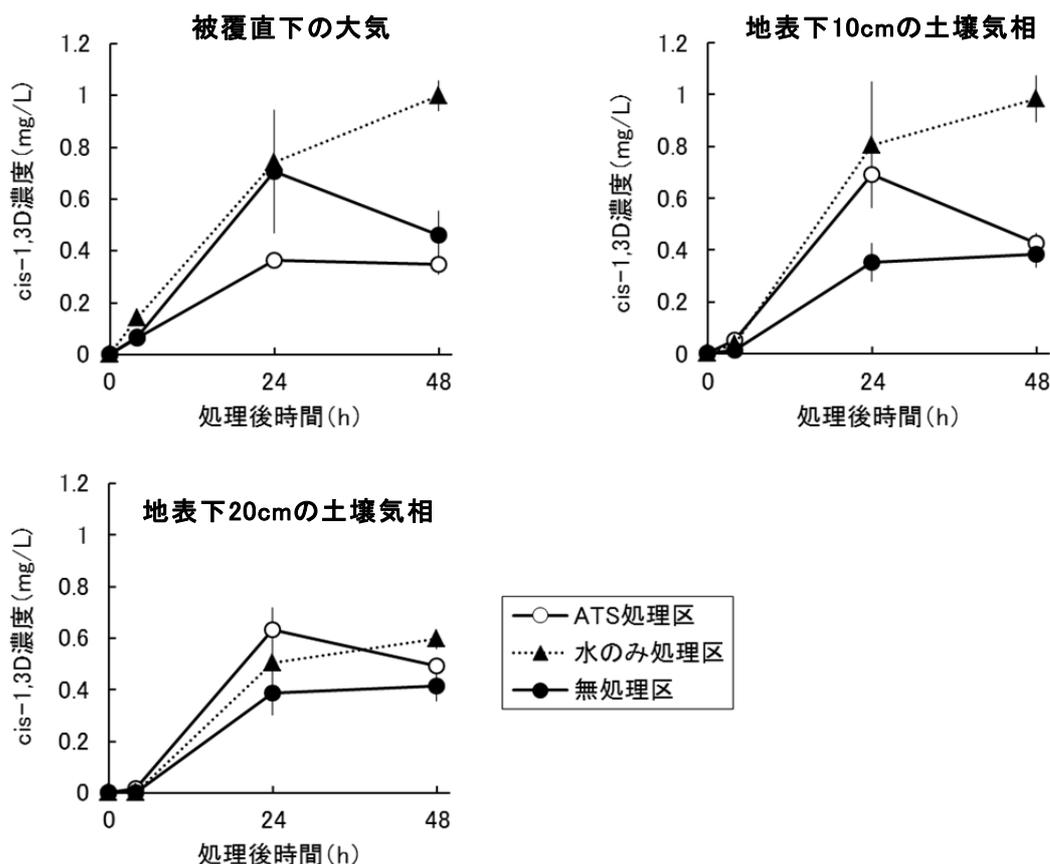
注1) 5地点の平均値。検出限界値 ($0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 未満の場合は $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ として算出

2) エラーバーは最高値と最低値を示す

(4) 黒ボク土におけるチオ硫酸塩を用いた土壤くん蒸剤の揮散低減効果

被覆直下の大気におけるATS処理区のcis-1,3-ジクロロプロペン濃度は、3区の中で最も低く推移し、処理24時間後では0.364mg/Lと無処理区の0.706mg/Lと比べて約1/2の値であった(図(3)-10)。処理48時間後のATS処理区の濃度は0.347mg/Lであり、無処理区における0.463mg/Lの75%に相当した。地表下10cmにおけるATS処理区のcis-1,3-ジクロロプロペン濃度は、処理24時間後が0.693mg/Lであり、無処理区の0.352mg/Lと比べて約2倍の値であった。処理48時間後では両区ともほぼ同等の濃度(約0.4 mg/L)となった。地表下20cmにおけるATS処理区のcis-1,3-ジクロロプロペン濃度は、処理24時間後では0.633mg/Lと3区の中で最も高かった。処理48時間後のATS処理区の濃度は0.493mg/Lに低下したが、無処理区の0.415mg/Lと比べてやや高い値であった。被覆直下の大気及び土壤の気相におけるクロルピクリンの濃度推移は、cis-1,3-ジクロロプロペンとほぼ同様の傾向であった。

今回の試験では黒ボク土においてATSにより処理24時間後の土壤くん蒸剤濃度を1/100にすることを目標とした。しかし、以上のように、今回の処理量と処理方法では目標を達成することは難しかった。ATSの処理量を増やす、あるいは水量を増やして地表下まで浸透させるといった対策が必要と考えられた。

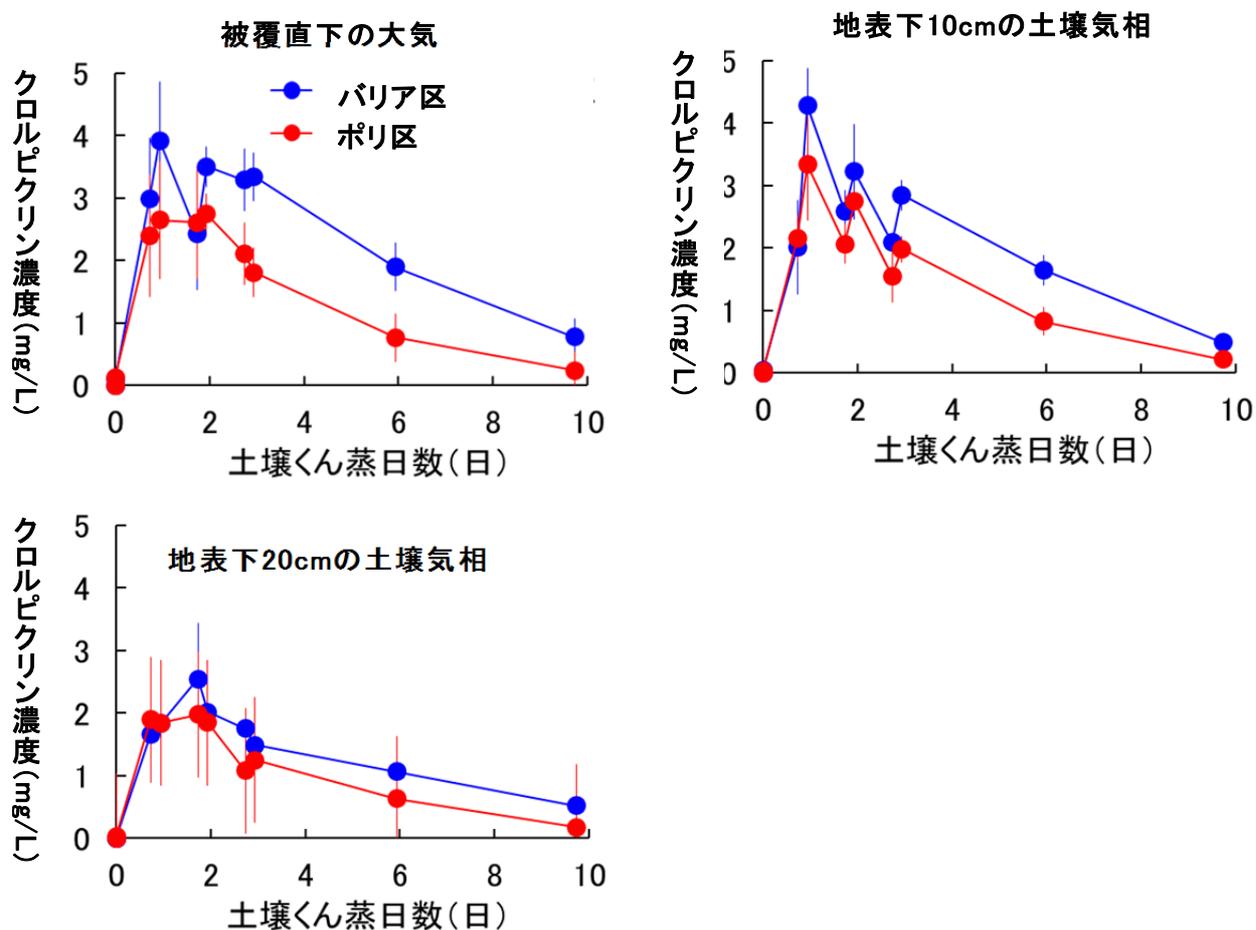


図(3)-10 黒ボク土におけるATS処理によるcis-1,3-ジクロロプロペンの化学的分解促進効果
注) エラーバーは標準誤差を示す

(5) ガスバリアー性フィルム被覆による黒ボク土の気相及び被覆直下の大気における土壤くん蒸剤濃度の上昇効果

黒ボク土の気相及び被覆直下の大気の土壤くん蒸剤濃度は、くん蒸開始から1~3日後に最高濃度に達し、その後減衰した。クロルピクリンの濃度推移を図(3)-11に示す。バリアー区における土壤くん蒸剤濃度は、特に土壤くん蒸開始3日後以降にポリ区と比べて高くなった。深さ別では、被覆直下において区間差が最も大きく、地表下10cmがこれに次いだ。これらの傾向は、1,3-ジクロロプロペンでも同様に観察された。

以上のことから、ガスバリアー性フィルムの被覆により、黒ボク土の気相及び被覆直下の大気において土壤くん蒸剤の濃度が上昇することが明らかとなり、薬効が向上することが期待された。



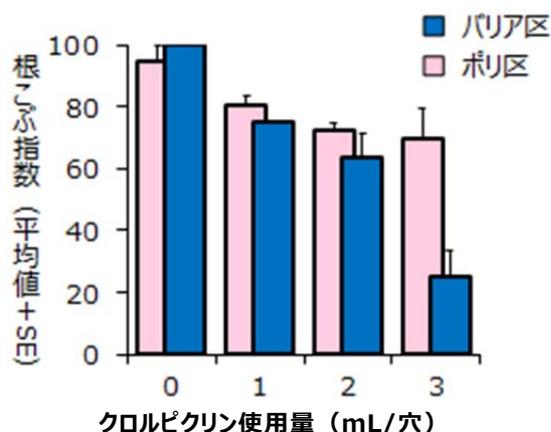
図(3)-11 黒ボク土の気相及び被覆直下の大気における土壤くん蒸剤濃度

注) エラーバーは±SDを示す (n=4、バリアー区地表下20cmのみn=3)

(6) ガスバリアー性フィルム被覆による土壤くん蒸剤の薬効向上効果

ガスバリアー性フィルム被覆による土壤くん蒸剤の薬効向上効果を検証した。夏期のデータを図(3)-12に示す。なお、根こぶ指数は、値が小さいほど薬効が高いことを表す。クロルピクリンを使用し、ガスバリアー性フィルムで被覆した3区の根こぶ指数は、いずれもポリ区と比べて小さく、薬効が向上していることが明らかとなった。特に、使用量を3 mLとした区においてバリアー区とポリ区の差が顕著であった。そのメカニズムを考察するために薬効と土壤気相の積算濃度の関係を解析した。その結果、サツマイモネコブセンチュウに対するクロルピクリンの薬効は、土壤気相の積算濃度に依存した(図(3)-13)。また、同じ積算濃度の場合、夏試験の薬効は冬試験と比べて高かった。以上のことから、ガスバリアー性フィルムの被覆により土壤くん蒸剤の薬効が向上することが明らかとなり、また、そのメカニズムは積算濃度の上昇によるものと考えられた。

さらに、被覆表面から漏洩するクロルピクリンのフラックスを評価した。バリアー区における漏洩量はポリ区と比べて1/100程度であった(図(3)-14)。また、被覆表面から漏洩するクロルピクリンのフラックスは、両区とも概ね使用量に依存した。このことから、ガスバリアー性フィルムで被覆することにより、被覆表面からのフラックスが大幅に低減することが明らかとなり、使用量を削減するとそれに伴い漏洩するフラックスも低減することが確認された。



図(3)-12 サツマイモネコブセンチュウ防除におけるガスバリアー性フィルム被覆によるクロルピクリンの使用量削減効果(夏試験)

注) 根こぶ指数 = $(4 \times \text{甚株数} + 3 \times \text{多株数} + 2 \times \text{中株数} + \text{少株数}) / (4 \times \text{合計株数}) \times 100$

0 : 根こぶなし、1 : わずか、2 : 散見、3 : 多、4 : 多かつ発根抑制あり

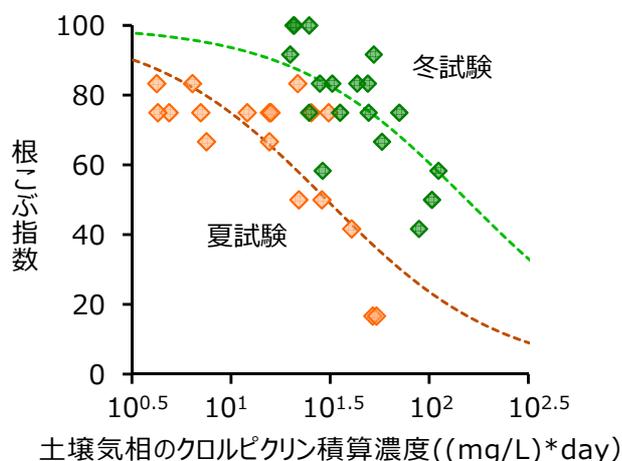


図3-13 サツマイモノコブセンチュウに対するクロルピクリンの薬効と
土壌気相における積算濃度の関係

- 注1) 根こぶ指数 $= (4 \times \text{甚株数} + 3 \times \text{多株数} + 2 \times \text{中株数} + \text{少株数}) / (4 \times \text{合計株数}) \times 100$
 0 : 根こぶなし、1 : わずか、2 : 散見、3 : 多、4 : 多かつ発根抑制あり
- 2) 図中の点線は用量反応曲線へのあてはめ結果

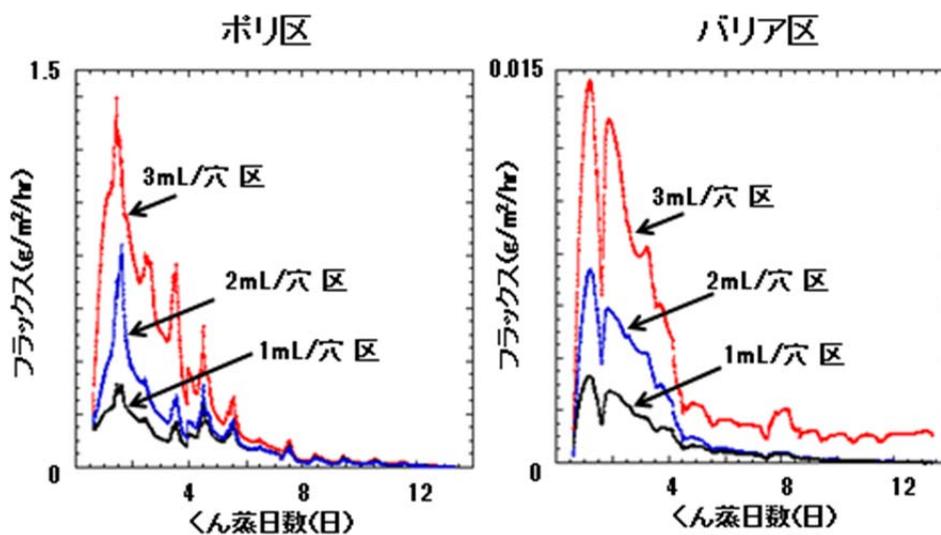


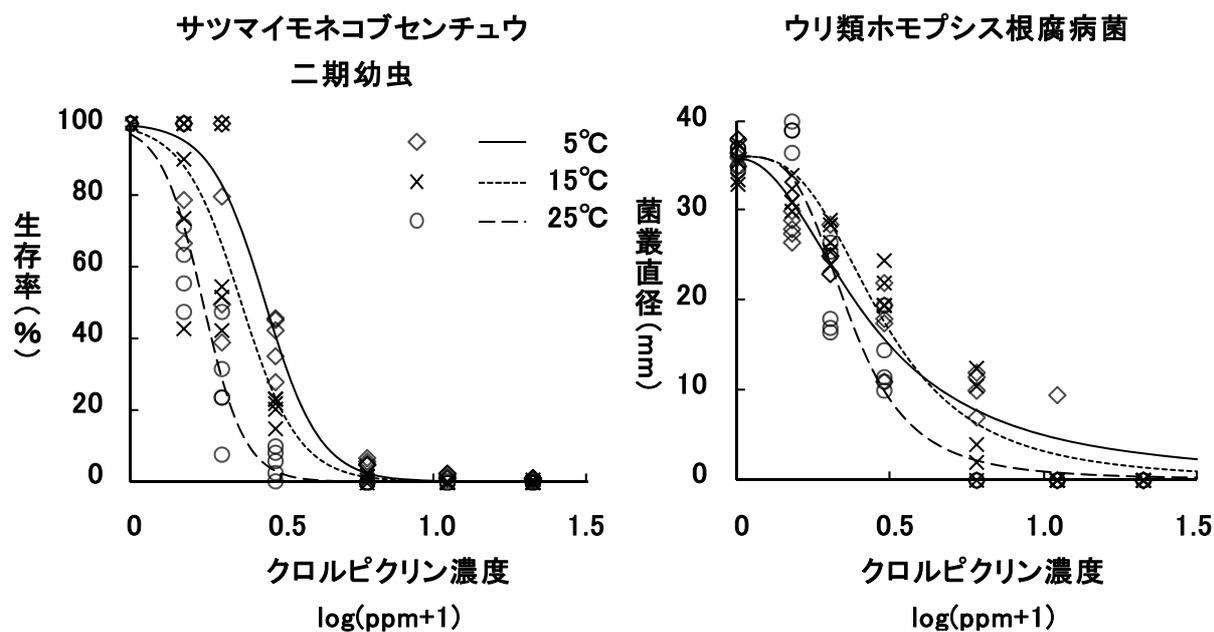
図3-14 被覆表面から漏洩するクロルピクリンのフラックス²⁾の推移 (夏試験)

- 注1) 左右の図で縦軸のスケールが100倍違うので留意すること
- 2) 被覆直下の大気中クロルピクリン濃度と被覆資材の温度を測定し、
被覆資材の物質移動係数を用いて算出した

(7) 土壌くん蒸剤の薬効に関するメカニズムの検証

1) サツマイモネコブセンチュウ二期幼虫とウリ類ホモプシス根腐病菌のクロルピクリンに対する感受性と温度の関係を検証した。サツマイモネコブセンチュウ二期幼虫の生存率は、温度が高いほど低いクロルピクリン濃度で影響を受けた(図(3)-15)。ウリ類ホモプシス根腐病菌の菌叢の直径は、5℃の低濃度側を除いて、温度が高いほど低い濃度で影響を受けた。

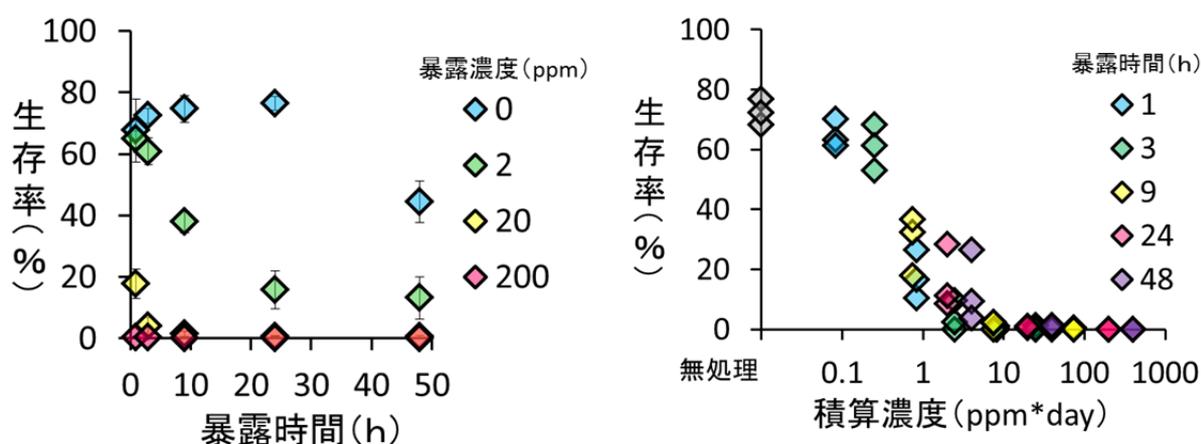
以上のように、土壌病害虫のクロルピクリンに対する感受性は、温度が高いと感受性が高まった。このことは、上記試験(6)において、土壌気相の積算濃度が同じ場合、夏試験の薬効が冬試験と比べて高かった理由の一つと考えられる。



図(3)-15 温度条件によるサツマイモネコブセンチュウ二期幼虫とウリ類ホモプシス根腐病菌のクロルピクリンに対する感受性の相違

2) 暴露時間と暴露濃度を組み合わせ、土壌くん蒸剤に対するサツマイモネコブセンチュウ二期幼虫の感受性を検定した。暴露濃度が同じであれば暴露時間が長いほど、暴露時間が同じであれば暴露濃度が高いほどサツマイモネコブセンチュウの生存率が低下した（図(3)-16左図）。独立変数（図の横軸）を積算濃度に変換すると、サツマイモネコブセンチュウの生存率は、一定の用量-反応曲線に収束した（図(3)-16右図）。

以上から、サツマイモネコブセンチュウ二期幼虫のクロルピクリンに対する感受性は、積算濃度に依存することが明らかとなった。こうした傾向は、1,3-ジクロロプロペンとメチルイソチオシアネートでも観察された。また、このことは上記試験（6）でサツマイモネコブセンチュウに対するクロルピクリンの薬効が土壌気相の積算濃度に依存したことと一致した。

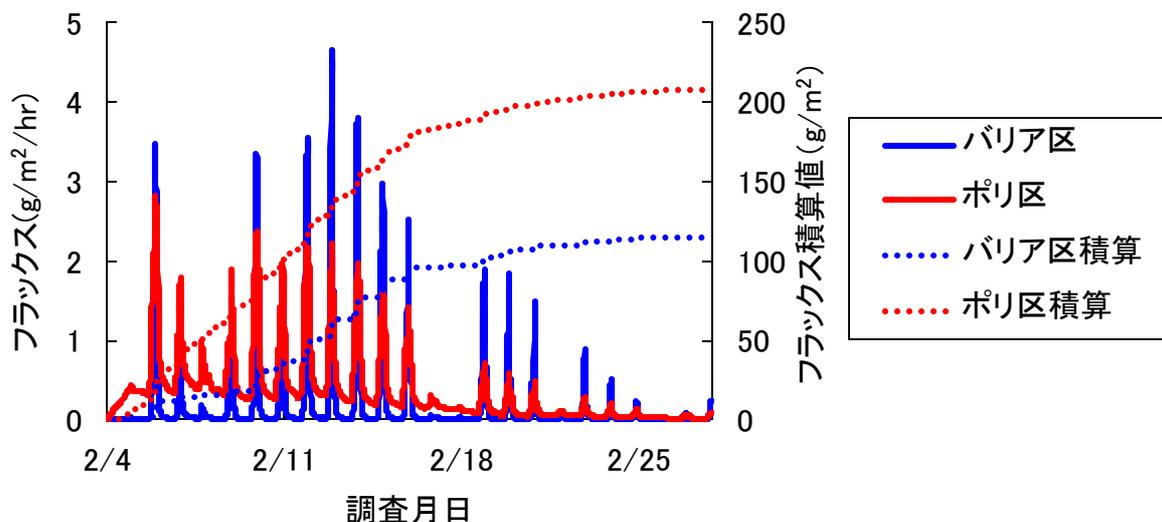


図(3)-16 クロルピクリン積算濃度がサツマイモネコブセンチュウ二期幼虫に及ぼす影響
注) 左図：暴露した時間と濃度ごとの結果 右図：独立変数を積算濃度に変換した場合

(8) 農業生産現場におけるガスバリアー性フィルムを用いた土壌くん蒸剤の揮散低減効果の実証

試験終了時においてバリアー区のフィルム表面から漏洩したクロルピクリンの積算値は115g/m²であり、ポリ区の209g/m²の55%に相当した（図(3)-17）。ただし、両区の値は、使用量の50g/m²（使用量30L/10a×比重1.66から算出）と比べて2～4倍程多く、過大に評価されていることに留意する必要がある。バリアー区のフラックスは、ポリ区と比べて夜間を中心とした低温時に小さく、昼間の高温時にピーク状に大きくなる傾向が観察された。これは、供試したガスバリアー性フィルムの構造に由来する特徴であり、高温時に物質移動係数が大きくなるためである。

以上のように、農業生産現場においてガスバリアー性フィルムを用いることで、土壌くん蒸剤の揮散が低減することが実証された。



図(3)-17 農業生産現場におけるガスバリアー性フィルムを用いた土壤くん蒸剤の揮散低減効果の実証

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

我が国の代表的な畑土壌である黒ボク土は、他の土壌と比べて全孔隙間率、全炭素含量及び含水率が高いなど土壤くん蒸剤の動態を左右する性質を持っている。本研究により、黒ボク土の農業生産現場における大気中の土壤くん蒸剤濃度が明らかとなった。また、黒ボク土の露地畑において、土壤くん蒸時の被覆にガスバリアー性フィルムを用いることで、慣行のポリエチレン製フィルム被覆時と比べて大気中のくん蒸剤濃度を大幅に低減できることを明らかにした。さらに、ガスバリアー性フィルムを用いることで土壤くん蒸剤の薬効が向上すること及びそのメカニズムが土壌におけるくん蒸剤の積算濃度の上昇であることを明らかにした。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

本研究の成果により、黒ボク土の露地畑において、土壤くん蒸時の被覆資材としてガスバリアー性フィルムを用いることで、大気中のくん蒸剤濃度を低減できること及びその程度が明らかとなった。これは、農業生産者がガスバリアー性フィルムを導入する際に生じるコスト上昇を地方公共団体、生産団体等が支援する際の根拠となる。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

特に記載すべき事項はない。

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表（査読なし）>

特に記載すべき事項はない。

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) 武田 藍、横山とも子、山本幸洋、原田浩司、小原裕三：関東東山病害虫研究会第61回研究発表会（2014）「土壌くん蒸剤のリスク削減と管理技術開発に向けた土壌病害虫のクロロピクリンに対する感受性検定」
- 2) 山本幸洋、原田浩司、横山とも子、武田 藍、小原裕三：日本農薬学会第39回大会（2014）「難透過性フィルム被覆下における黒ボク土気相中の土壌くん蒸剤濃度」
- 3) 武田 藍、國友映理子、山本幸洋、原田浩司、小原裕三：第59回日本応用動物昆虫学会大会（2015）「黒ボク土におけるクロロピクリン処理時のガスバリアー性フィルム被覆によるサツマイモネコブセンチュウ防除効果の改善」
- 4) 山本幸洋、原田浩司、武田 藍、國友映理子、塩見崇史、小原裕三：日本農薬学会 第40回大会（2015）「黒ボク土におけるガスバリアー性フィルム被覆による土壌くん蒸剤の大気中濃度低減効果」
- 5) 國友映理子、武田 藍、山本幸洋、原田浩司、小原裕三、横山とも子：平成27年度日本植物病理学会関東部会（2015）「黒ボク土露地畑におけるガスバリアー性フィルム適用によるクロロピクリン処理量削減の可能性」
- 6) 山本幸洋、原田浩司、武田 藍、國友映理子、塩見崇史、小原裕三：日本農薬学会第41回大会（2016）「黒ボク土露地畑における土壌くん蒸時の大気中くん蒸剤濃度の分布と推移」

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 国民との科学・技術対話「土に住む生き物たちのおもしろ小話」（主催：千葉県農林総合研究センター、平成27年11月14日、千葉県農林総合研究センター公開デーの「知って納得 食と農のおもしろ講座」において実施、観客75名）にて講演及び研究成果等を展示

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) 千葉県・千葉県農林水産技術会議：千葉県農耕地土壌の現状と変化 土壌実態調査 7 巡目
(2009～2012) の結果より (2015) 千葉県の主な農耕地土壌とその面積

5-1303 日本型農業環境条件における土壌くん蒸剤のリスク削減と管理技術の開発

(4) 徳島県砂地畑における土壌くん蒸剤のリスク削減技術の現地実証に関する研究

徳島県立農林水産総合技術支援センター

資源環境研究課	食の安全担当	田中 昭人
	食の安全担当	大黒 香奈美
	病害虫・鳥獣担当	米本 謙悟
農産園芸研究課	野菜・花き担当	村井 恒治

平成25～27年度累計予算額：13,628千円（うち平成27年度：4,226千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

徳島県のサツマイモ栽培は砂地畑で行われており、最重要病害であるサツマイモ立枯病菌に対してクロルピクリン（以下 CP）によるマルチ畦内処理が行われている。しかしながら、現在使用されている黒色ポリエチレンフィルム（以下 PE）では土壌消毒剤のガス保持機能が小さく、CPの漏洩を防止することが期待できない。そこで、ガスバリアー性フィルム（以下 TIF）を利用して畦内のCPの拡散程度と防除効果について検討し、CP処理量の低減化を図った。また、大気中への漏洩程度を明らかにし、TIFの有効性について把握した。

[キーワード]

ガスバリアー性フィルム、クロルピクリン、サツマイモ立枯病、大気拡散、砂地畑

1. はじめに

本県のサツマイモ栽培では、最重要病害であるサツマイモ立枯病菌に対してCPによるマルチ畦内処理が行われているが、近年の宅地の進行に伴い、土壌くん蒸剤として使用されるCPの揮散による周辺環境への危被害が大きな問題となっており、その対策が喫緊に求められている。

近年開発されたTIFについては、大気中へのCPの揮散抑制、畦内のCP濃度の分布等、従来のPEと比較したデータが不足しており、TIFの適切な使用方法についての評価が困難であった。

そこで、ガス透過性や畦内の濃度分布を把握することで、TIFの有効性を評価し、周辺環境への危被害防止に寄与する。

2. 研究開発目的

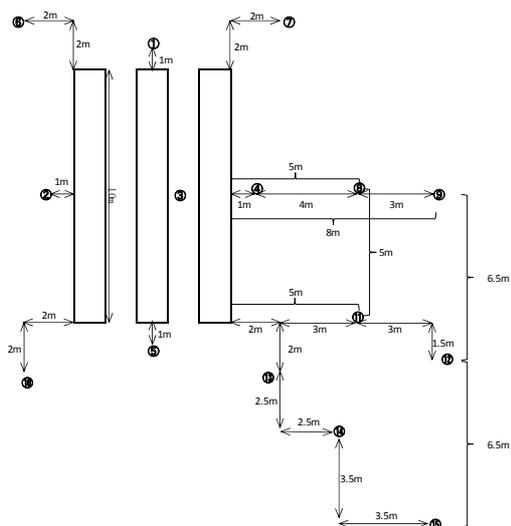
本サブテーマでは、TIFを用いた場合のCPの大気中への放出抑制程度と畦内のCP濃度推移を把握する。また、サツマイモ立枯病防除に対する有効な薬量を調査し、CP処理量の低減化を検討することで、大気中へのCP放出程度をさらに抑制する。

3. 研究開発方法

(1) ガスバリアー性フィルムを用いたクロルピクリンの大気中放出抑制

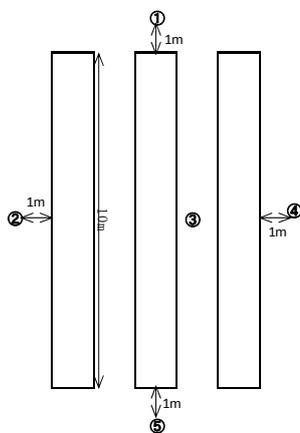
周辺環境における大気経路暴露濃度を実測により評価した。センター内砂地圃場で、2015年11月9日から13日に幅0.5m×長さ10mの畦を3本作成し、CP3mL/穴を30cm間隔で処理した。大気中のCPを捕集するため、ポンプを図(4)-1の位置に設置し、地上から60、120cmの2ヶ所で0.4L/分で大気を捕集した。供試資材は、吸着剤XAD-4 (SKC製、8×15mm、400/200mg)、被覆資材として、PEを用いた。捕集後、吸着剤をアセトン15mLで洗浄しCPを溶出させ、溶出後、ガスクロマトグラフ (ECD) でCP濃度を測定した。

北

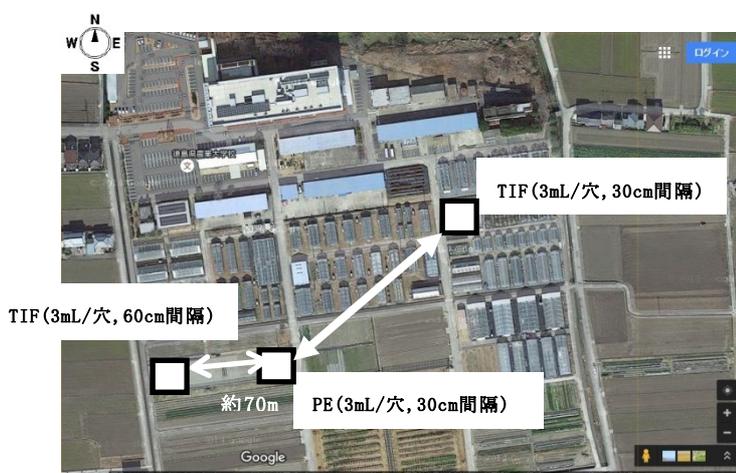


図(4)-1 ポンプ配置位置

また、大気への漏洩低減程度と周辺環境における大気経路暴露濃度の低減効果を実測により評価した。センター内砂地圃場で、2015年11月9日から13日に幅0.5m×長さ10mの畦を3本作成し、CP3mL/穴を30cm (TIF区は60cmも追加) 間隔で処理した。大気中のクロルピクリンを捕集するため、ポンプを図(4)-2の位置に設置し、試験区の干渉がおきないよう十分な距離を設けた (図(4)-3)。ポンプの吸入口は地上から120cmで0.4L/分で大気を捕集した。供試資材は、吸着剤XAD-4、被覆資材として、TIF、PEを用いた。捕集後、吸着剤をアセトン15mLで洗浄しCPを溶出させ、溶出後、ガスクロマトグラフ (ECD) でCP濃度を測定した。



図(4)-2 ポンプ配置位置



図(4)-3 各区の位置関係

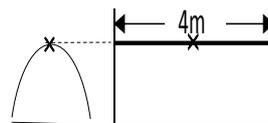
(2) サツマイモ栽培地域での大気中クロロピクリン濃度のモニタリング

CALPUFFを用いた園芸地域環境濃度算出のため、生産現場での大気中のモニタリングを実施した。測定期間は、2015年3月5日～4月24日（2～3日おき）に鳴門市の4地点にポンプを設置し、地上から120cm高で0.4L/分で4時間大気を捕集した。供試資材は、吸着剤XAD-4を用いた。捕集後、吸着剤をアセトン15mLで洗浄しCPを溶出させ、溶出後、ガスクロマトグラフ（ECD）を用いてCP濃度を測定した。

(3) ガスバリアー性フィルムを用いたクロロピクリンによるサツマイモ立枯病に対する防除効果の範囲

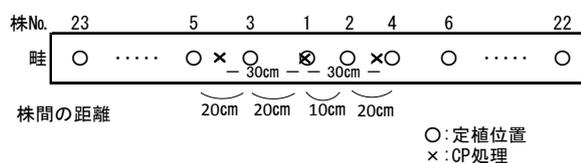
センター内砂地畑圃場で2013年、2014年の2年間おこなった。

2013年の試験では、5月2日に幅0.5m×長さ4mの畦を3本作成し、TIF（商品名：ハイバリアー）とPE（商品名：FC50）で被覆した。5月7日（1回目）および5月30日（2回目）にCP（商品名：クロピク80 CP80%含有）を図(4)-4に示すとおり、畦最頂部分に手動式土壌消毒器（共立製）で畦頭上から15cm下へ3mL灌注後、直ちに各フィルムで被覆した。土壌くん蒸処理は5月28日（1回目）、6月18日（2回目）（処理21日後）まで行い、処理終了後、直ちに生長点より長さ約30cmに切りそろえたサツマイモ苗（品種：なると金時（高系14号の選抜系統））を定植した。サツマイモ苗はCP処理部分から左右へ42cm幅で定植した。区制は2区制とした。



図(4)-4 試験区のクロロピクリン処理位置
×：CP処理位置

2014年の試験では、3月27日に幅0.5m×長さ5mの畦を作成し、CPを畦最頂部分に手動で畦頭上から15cm下へ中央部分の1カ所（1地点処理）または30cm間隔で3カ所（3地点処理）（図(4)-5）、3mL/穴灌注後、直ちに各フィルムで被覆した。くん蒸期間は4月18日（処理21日後）まで行い、処理終了後、直ちに生長点より長さ約20cmに切りそろえたサツマイモ苗を畦頭上から約15cmの深さに定植した。サツマイモ苗は図(4)-5に示すとおり、畦中央のCP処理部分から左右へ10cm間隔で効果判定できるように定植した。区制は2区制とした。施肥等は慣行とした。



図(4)-5 試験区のCP処理位置とサツマイモ定植位置（3地点処理区）
○：定植位置
×：CP処理
注1)地点処理は畦中央1カ所のみ

茎部および塊根部の調査は2013年の試験では9月13日（1回目）、10月2日（2回目）に定植全株について行った。調査項目は茎部では発病株数と発病を程度別に調査した。塊根部は重量約50g以上の塊根を対象に発病を程度別に全個調査した。

2014年度の試験では、地上部の生育調査は6月17日に定植全株対象に地上部の生育を程度別に行った。茎部および塊根部の調査は8月1日に定植全株について行った。調査項目は2013年程度別発病指数を用いた。

また、畦内のCPの水平方向への濃度分布状況を調査するため、2013年の上記の圃場において、5月7日の処理開始後4、8、24、30、48時間後に、処理地点から0、50、100cm離れた地点でのCP濃度を測定した。5月30日には、処理後0、1、2、4、8、12、16、20、24、28、32、50時間後に、処理

地点から0、50、100cm離れた地点でのCP濃度を測定した。採取方法は、畦頭頂部から15cmの位置からCPを含む空気をガスタイトシリンジにより5mL採取し、ヘキサン20mLに溶解した後、ガスクロマトグラフ（ECD）を用いてCP濃度を測定した。

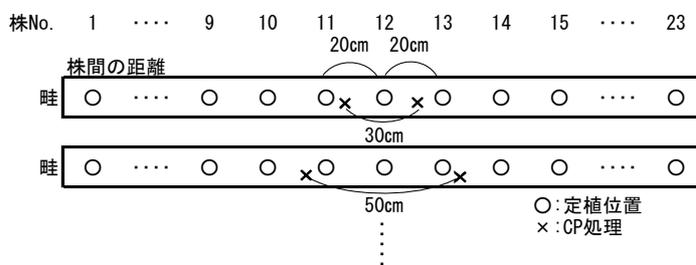
（４）ガスバリアー性フィルムを用いたサツマイモ立枯病に対するクロルピクリン処理間隔の限界と防除効果

本試験は、センター内砂地畑圃場で2014年、2015年の2年間行った。

2014年は5月7日に、2015年は3月23日に幅0.5m×長さ5mの畦を作成し、CPを畦最頂部分に手動式土壌消毒器で畦頭上から15cm下へ30、50、100、150及び200cm間隔で3mL/穴2カ所処理し、直ちに各フィルムで被覆した。くん蒸期間は、2014年5月28日まで、2015年4月13日までで、それぞれ21日間行い、処理終了後、直ちに生長点より長さ約20cmに切りそろえたサツマイモ苗を畦頭上から約15cmの深さに定植した（図(4)-6）。サツマイモ苗は図(4)-6、(4)-7に示すとおり、各処理地点間の中央部分から20cm間隔でサツマイモ苗を定植した。区制は1区制とした。



図(4)-6 試験区のサツマイモ定植位置とCP処理位置



図(4)-7 試験区のサツマイモ定植位置(株間20cm)

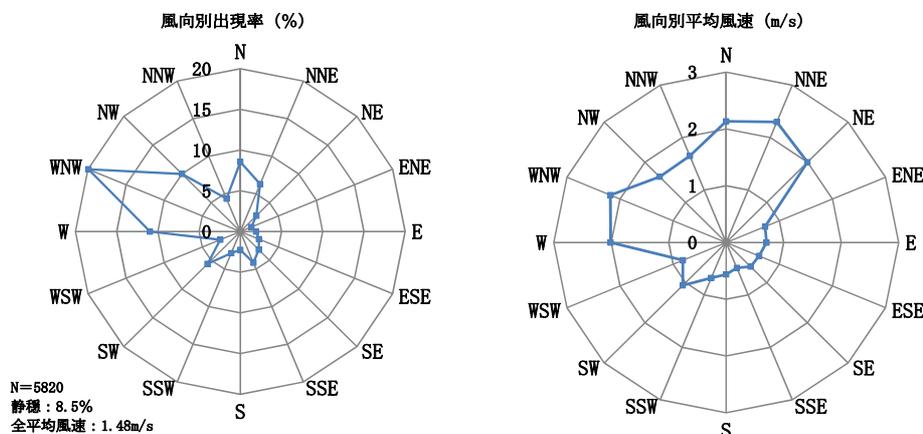
地上部の生育調査は、2014年は7月28日に、2015年は5月28日に定植全株対象に地上部の生育を程度別に行い、茎部および塊根部の調査は、2014年は9月10日に、2015年は7月31日に定植全株について行った。調査項目は茎部では発病株数と発病を程度別に調査した。塊根部は重量約50g以上の塊根を対象に発病を程度別に全個調査した。

また、CPの防除効果の範囲、CP処理間隔の限界と防除効果を調査する試験において、畦内のCPの水平拡散について調査した。調査方法は、経時的にCP処理点からの距離別に畦内（畦上から15cm）のCPを含む空気をガスタイトシリンジにより5mL採取し、ヘキサン20mLに溶解した後、ガスクロマトグラフ（ECD）を用いてCP濃度を測定した。

4. 結果及び考察

（１）ガスバリアー性フィルムを用いたクロルピクリンの大気中放出抑制

周辺環境における大気経路暴露濃度を実測により評価した結果、調査期間中のほ場周辺の平均気温は19.2℃であり、平均風速は1.48m/sとなった。また、風向の出現頻度としては、西北西19.9%、西11%、北西10%となった（図(4)-8）。調査期間中の最大濃度は、203.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ （捕集箇所3番、高さ60cm、4～10時間後）となった。また、風下に位置した地点（4→8→9番、13→14→15番）では、畦の端から遠くなるにしたがって、減衰が見られた（表(4)-1）。



図(4)-8 風向別の出現率 (%) および平均風速 (m/s)

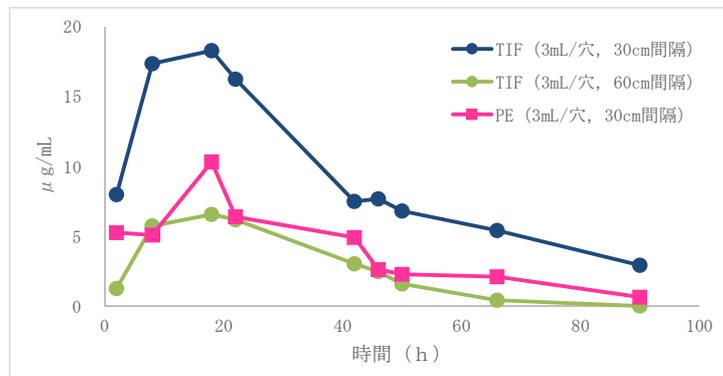
表(4)-1 ほ場周辺環境中のクロルピクリン濃度の推移

捕集箇所	地上高	処理後経過時間 (h)										
		0~4	4~10	10~16	16~20	20~24	24~28	40~44	44~48	48~52	66~72	90~96
1	120cm	1.99	4.08	0.40	0.29	nd	0.64	13.30	0.27	4.03	0.80	3.94
	60cm	4.92	17.26	2.02	1.79	0.62	1.89	36.13	0.29	17.25	2.16	8.64
2	120cm	2.69	9.03	1.03	0.26	1.72	1.19	15.58	6.04	6.68	2.51	7.53
	60cm	7.93	35.06	2.00	0.49	2.38	3.78	47.32	12.23	35.94	8.62	13.67
3	120cm	12.06	22.91	16.79	13.11	13.92	11.93	28.15	11.19	18.95	3.70	6.80
	60cm	82.21	203.13	172.75	181.67	128.04	164.12	193.00	47.34	86.74	25.18	31.56
4	120cm	14.57	37.36	23.08	24.19	19.48	19.89	17.12	9.50	12.80	5.66	4.09
	60cm	53.14	114.11	104.68	116.16	82.94	77.85	50.82	13.45	34.55	11.67	11.08
5	120cm	2.44	8.60	5.29	5.53	9.82	6.21	14.51	15.61	14.27	5.33	3.15
	60cm	12.97	49.32	27.97	25.47	59.67	27.23	44.94	46.27	37.40	15.26	7.05
6	120cm	0.41	3.50	nd	nd	nd	nd	10.26	0.48	3.59	0.77	2.09
	60cm	0.96	8.70	nd	nd	nd	nd	19.60	0.56	13.31	0.90	3.13
7	120cm	2.30	2.41	1.49	0.52	nd	nd	6.26	nd	4.56	0.61	2.05
	60cm	7.06	9.47	2.89	2.69	0.34	3.21	17.08	nd	15.20	1.12	2.62
8	120cm	10.75	35.41	40.49	27.36	8.79	22.44	7.95	nd	2.40	2.34	1.83
	60cm	44.62	66.24	84.73	65.15	43.48	54.73	19.13	1.74	6.15	4.92	3.18
9	120cm	9.36	19.38	25.45	22.23	12.46	20.16	1.90	0.24	1.78	2.07	1.06
	60cm	12.04	67.63	45.26	33.41	19.95	29.64	7.73	0.58	5.41	2.93	1.64
10	120cm	nd	1.88	0.58	0.00	2.45	1.78	12.79	11.11	12.10	3.17	0.88
	60cm	2.00	4.89	0.68	0.24	4.56	2.53	19.63	15.16	15.27	6.07	1.56
11	120cm	11.96	32.71	45.24	31.00	24.83	23.74	6.86	2.71	6.37	3.34	1.62
	60cm	24.44	72.54	70.73	82.61	44.00	53.56	13.49	3.63	10.07	6.63	2.90
12	120cm	8.14	15.61	29.03	24.54	21.75	20.14	4.59	0.91	0.61	2.18	0.21
	60cm	16.40	45.71	36.36	34.79	29.64	26.42	7.45	1.07	1.90	2.41	1.19
13	120cm	6.13	13.39	16.79	16.71	18.89	11.66	5.85	5.76	7.07	3.29	1.21
	60cm	21.33	52.99	66.61	46.46	70.84	39.86	17.46	12.85	12.45	6.55	1.27
14	120cm	2.35	16.13	11.54	11.22	22.12	9.92	4.30	3.45	2.12	2.25	0.87
	60cm	5.28	28.67	15.68	19.99	37.33	14.92	5.90	3.83	3.38	3.17	1.19
15	120cm	1.98	1.13	7.20	6.94	18.45	7.89	1.51	2.10	0.31	1.59	0.49
	60cm	2.43	17.51	7.98	10.41	16.55	14.28	4.76	1.81	0.97	1.73	0.53

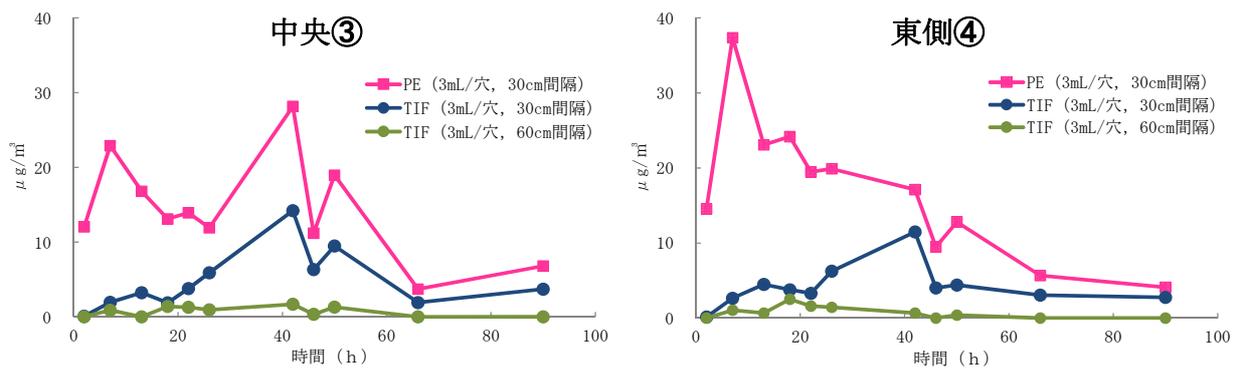
単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$

また、大気への漏洩低減程度と周辺環境における大気経由暴露濃度の低減効果を実測により評価した結果、フィルム直下のCP濃度は、TIF (3mL/穴, 30cm間隔) が最も高く推移した (図(4)-9)。

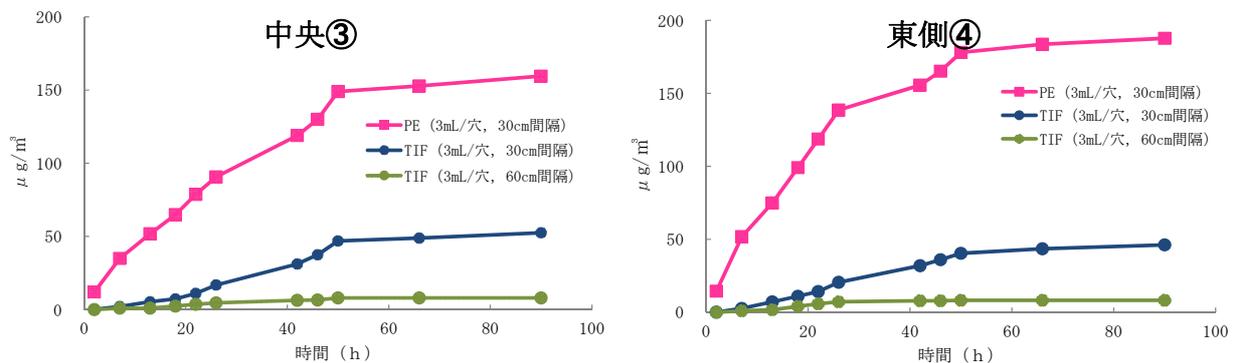
畦周辺のCP濃度は、PE (3mL/穴, 30cm間隔) が最も高く推移した (図(4)-10)。また、TIF (3mL/穴, 30cm間隔) では、初期の24時間の放出を顕著に抑制しており、96時間後の総放出量も畦中央部③地点で約1/3、畦東側④地点で約1/4程度まで抑制した。さらに、CPの処理量を1/2に低減することで、大気中への放出量も大幅に抑制することが可能となった (図(4)-11)。



図(4)-9 各フィルム直下のクロロピクリン濃度推移



図(4)-10 大気中のクロロピクリン濃度推移 (時間別)

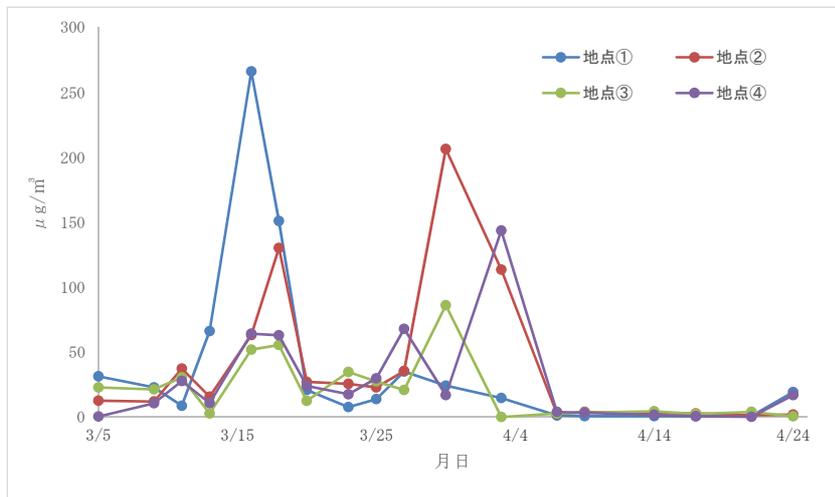


図(4)-11 大気中のクロロピクリン濃度推移 (積算)

(2) サツマイモ栽培地域での大気中クロロピクリン濃度のモニタリング

CALPUFFを用いた園芸地域環境濃度算出のためのモニタリングを実施した結果、3月中旬と下旬

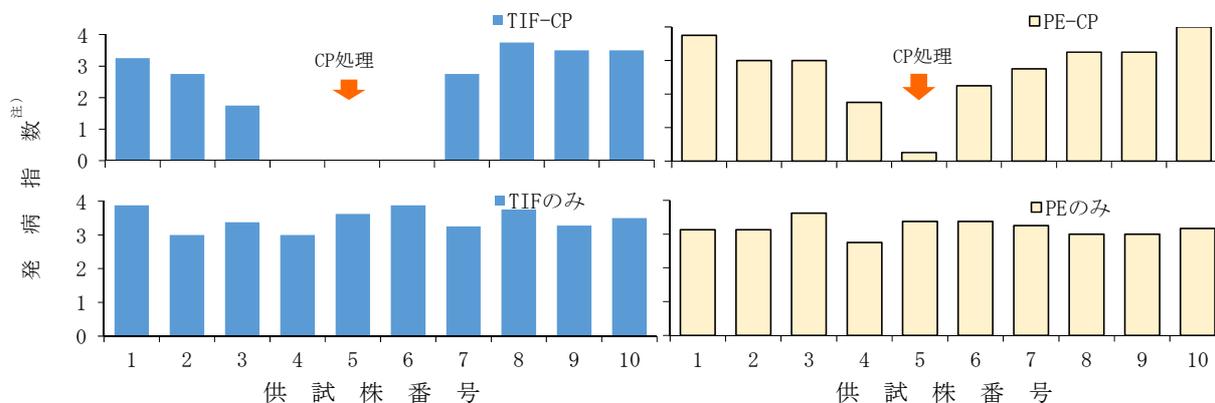
の2回にピークが見られた(図(4)-12)。地点①において、3月中旬に全期間をとおして最も高い濃度を検出したが、US EPAの設定する評価値(490 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、25°C、1atm)を超過することはなかった。



図(4)-12 生産現場での大気中クロロピクリン濃度推移

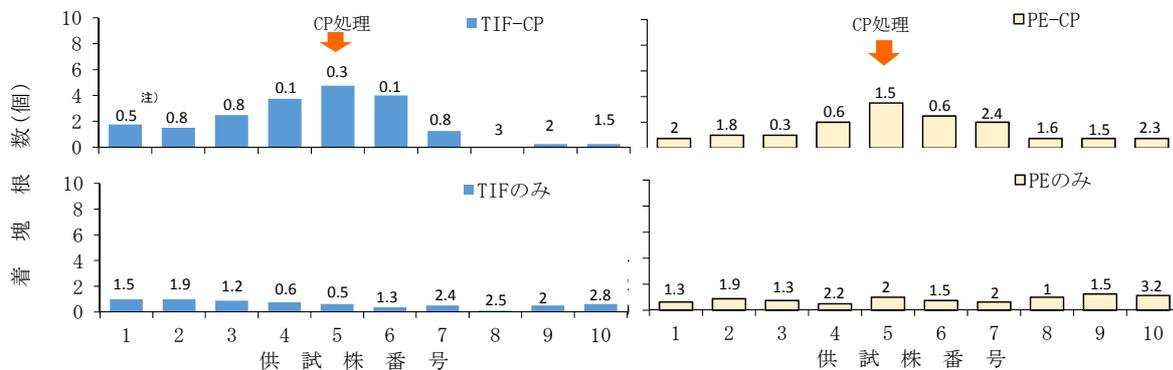
(3) ガスバリアー性フィルムを用いたクロロピクリンによるサツマイモ立枯病に対する防除効果の範囲

2013年の試験の調査結果は2回の平均とした。TIF、PEともCP処理0cm部分では発病はほとんど認められなかった。TIFでは、CP処理0cm部分から左右の株まで発病はほとんど認められなかったのに対し、PEではCP処理0cm部分ではほとんど発病は認められなかったが、その左右の株に発病が認められた(図(4)-13)。着塊根数および塊根発病程度ではTIFではCP処理0cm部分とその左右の株で着塊根数が3.8~4.8個認められ、発病程度も0.1~0.3程度であった。PEではCP処理0cm部分とその左右の株で着塊根数は2~3.5個認められ、発病程度は0.6~1.5であった(図(4)-14)。



図(4)-13 ガスバリアー性フィルムを利用したサツマイモ立枯病に対するクロロピクリン剤畦内拡散による防除効果(茎部)

注) 発病指数は以下の指数に従った。
 0: 発病を認めない 1: わずかな病斑を認める 2: 小さな病斑(2mm未満)が多い
 3: 大きな病斑(5mm以上)も認める 4: 大きな病斑が多い又は枯死



図(4)-14 ガスバリアー性フィルムを利用したサツマイモ立枯病に対するクロロピクリン剤畦内拡散による防除効果(塊根部)

注) 発病指数: 発病指数は以下の指数に従った。
 0: 発病を認めない 1: わずかな病斑を認める 2: 小さな病斑(5mm未満)が多い
 3: 大きな病斑(1cm以上)も認める。 4: 大きな病斑が多い

2014年の試験では、地上部の生育はTIF、PEともCP直下部分ではサツマイモ立枯病が原因と考えられる生育抑制は認められなかった。1地点処理ではTIFは約40~50cmの所までほとんど生育抑制がなかったのに対し、PEでは約20cmまでであった。3地点処理では、TIFは約80~90cmの所までほとんど生育抑制がなかったのに対し、PEでは30~40cmの所までであった(図(4)-15、(4)-16)。

茎部発病程度では、TIF、PEともCP直下部分では発病が認められなかった。1地点処理ではTIFは50cmの所まで発病が認められなかったのに対し、PEでは10cmまでであった。3地点処理では、TIFは110cmの所までほとんど発病が認められなかったのに対し、PEでは30cmの所までであった(図(4)-17)。

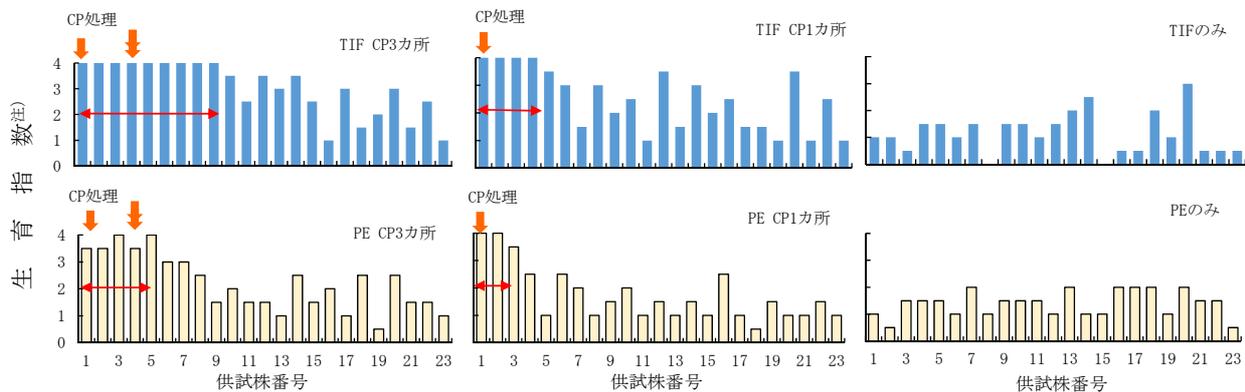
塊根部発病程度および塊根着生数では、TIF、PEともCP直下部分ではほとんど発病が認められなかった。1地点処理ではTIFは50cmの所までほとんど発病が認められなかった。塊根着生数は50cmの所までで平均3個、発病塊根率は5.5%であった。これに対し、PEではほとんど発病が認められなかったのは10cmまでで、50cmの所までの塊根着生数は平均2.5個、発病塊根率56.6%であった。3地点処理ではTIFは90cmの所までほとんど発病が認められなかった。塊根着生数は90cmの所までで平均3.5個、発病塊根率は2.9%であった。これに対し、PEではほとんど発病が認められなかったのは40cmまでで、90cmの所までの塊根着生数は平均3.0個、発病塊根率37.3%であった(図(4)-18)。

以上の結果からTIFを用いることで、畦内を広範囲に消毒でき、さらにCP処理間隔を大きくできる余地があると考えられ、消毒効果の高い範囲は処理点から50~60cmと推察された。



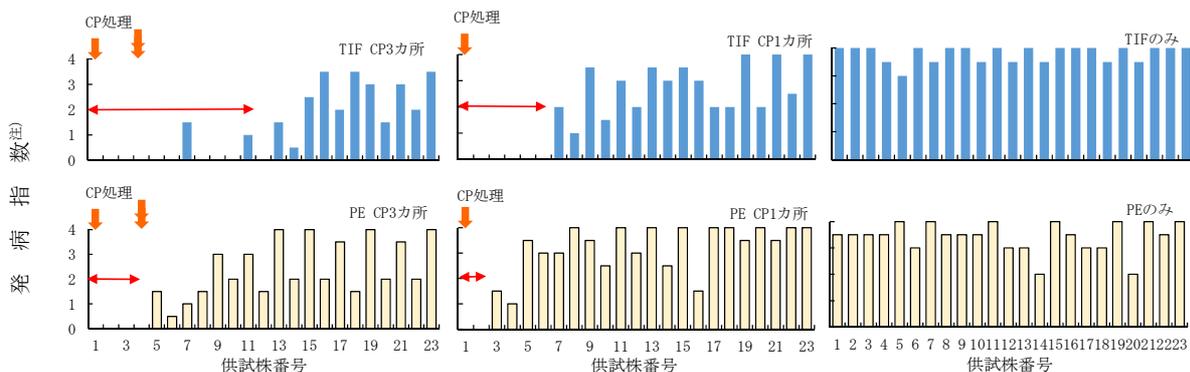
図(4)-15 各フィルム別におけるサツマイモ立枯病に対する地上部の生育

A: ガスバリアー性フィルム(左から1地点処理、3地点処理、無処理)
 B: 黒色ポリエチレンフィルム(左から無処理、3地点処理、1地点処理)



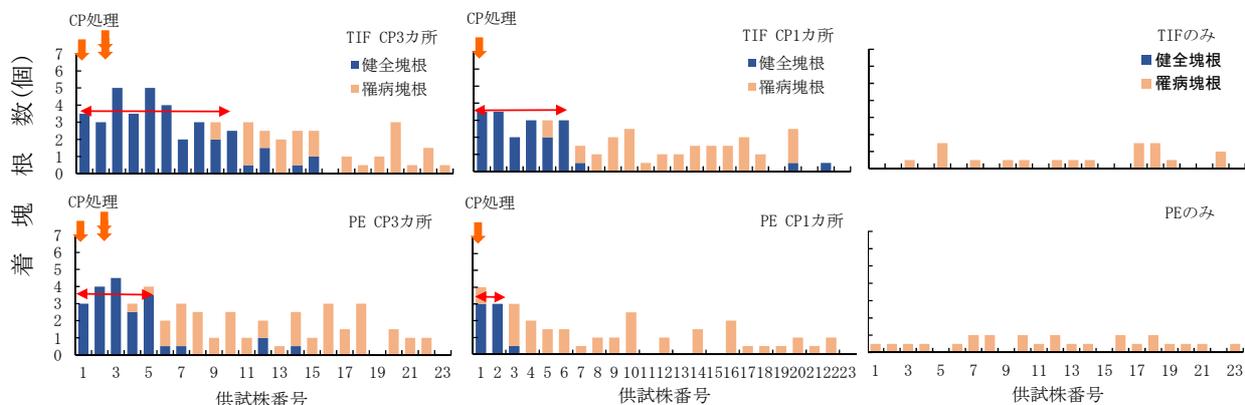
図(4)-16 ガスバリアー性フィルムを用いたクロルピクリンの畦内拡散程度によるサツマイモ立枯病に対する地上部生育程度

注) 生育指数は以下の指数に従った。
 4: 健全 3: 僅かな萎れ、株の萎凋が認められる 2: 株の萎凋、退緑が認められる
 1: 著しい株の萎凋が認められる 0: 枯死



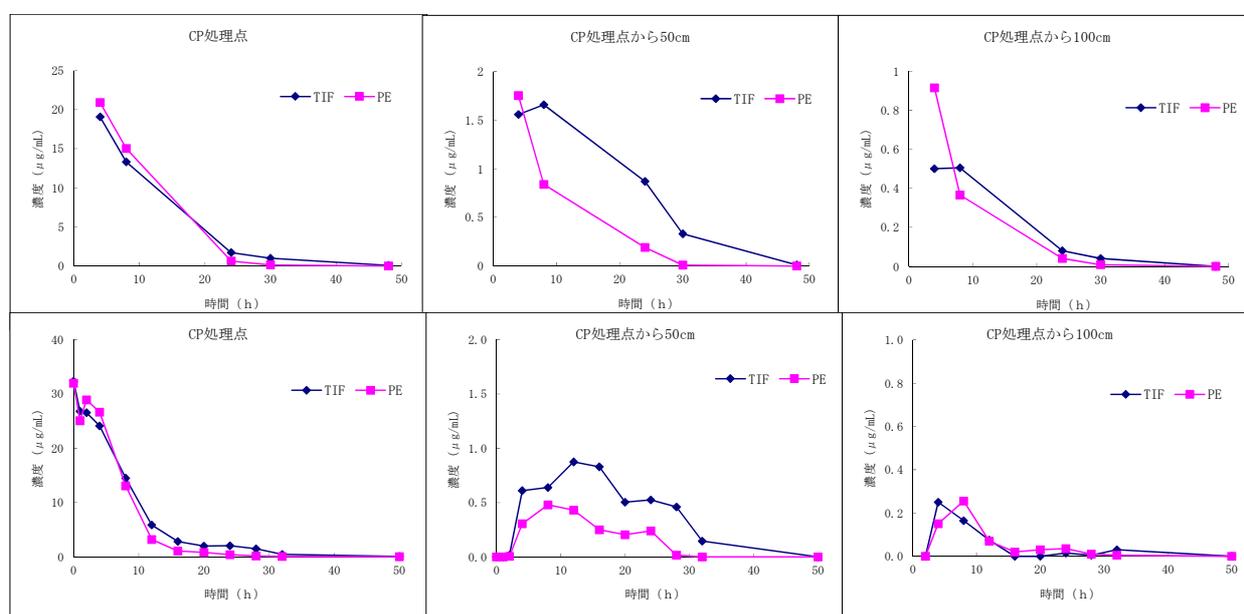
図(4)-17 ガスバリアー性フィルムを用いたクロルピクリンの畦内拡散程度によるサツマイモ立枯病に対する防除効果(茎部)

注) 発病指数は以下の指数に従った
 0: 発病を認めない 1: わずかな病斑を認める 2: 小さな病斑(2mm未満)が多い
 3: 大きな病斑(5mm以上)も認める 4: 大きな病斑が多い又は枯死



図(4)-18 ガスバリアー性フィルムを用いたクロルピクリンの畦内拡散程度によるサツマイモ立枯病に対する防除効果(塊根部)

処理点（0cm）でのCP濃度は、経時的に減衰が見られたが、TIF、PEでの差はほとんど見られなかった。処理点から50cmでのCP濃度は、両試験日とも処理4時間後から検出が始まり、5月7日の処理では、処理8時間後で慣行区に比べTIFで2倍、処理24時間後で4.5倍高く検出された。また、5月30日処理では、処理8時間後で1.3倍、処理24時間後で2.2倍高く検出された。処理点から100cmでのCP濃度は、検出があったものの低い濃度で推移し、各フィルムの差はほとんど見られなかった（図(4)-19）。CPの濃度分布は、PEに比べTIFがフィルム表面からの大気中への拡散が抑制されるため水平方向への移行多く見られるものと考えられた。処理点から50cmでのクロロピクリン濃度は、5月7日処理が5月30日処理よりも高く検出されているが、これは処理直前の降った降雨の影響で畦内の水分量が高くなりCPの移動を妨げた可能性が示唆された。



図(4)-19 畦内CP濃度推移
(上：2013年5月7日、下：2013年5月30日処理)

(3) ガスバリアー性フィルムを用いたサツマイモ立枯病に対するクロロピクリン処理間隔の限界と防除効果

地上部の生育では、TIFを用いた30、50および100cm区では、CP処理位置間の生育に問題はなく、生育に影響が認められたのは150、200cm区であった。これに対し、PEを用いた50cm区からやや影響が認められ始め、明確に生育への影響が認められたのは100cm区以降であった（図(4)-20）。

茎部発病程度では、TIFを用いた30、50および100cm区では、CP処理位置間の茎部発病が認められなかった。150cm区、200cm区ではCP処理直下を中心に発病は認められなかったが、CP処理位置間では発病が認められた。これに対し、PEでは100cm区で既に発病株が認められ、150、200cm区ではCP処理直下付近以外ではほとんどの株で発病が認められた（図(4)-21）。

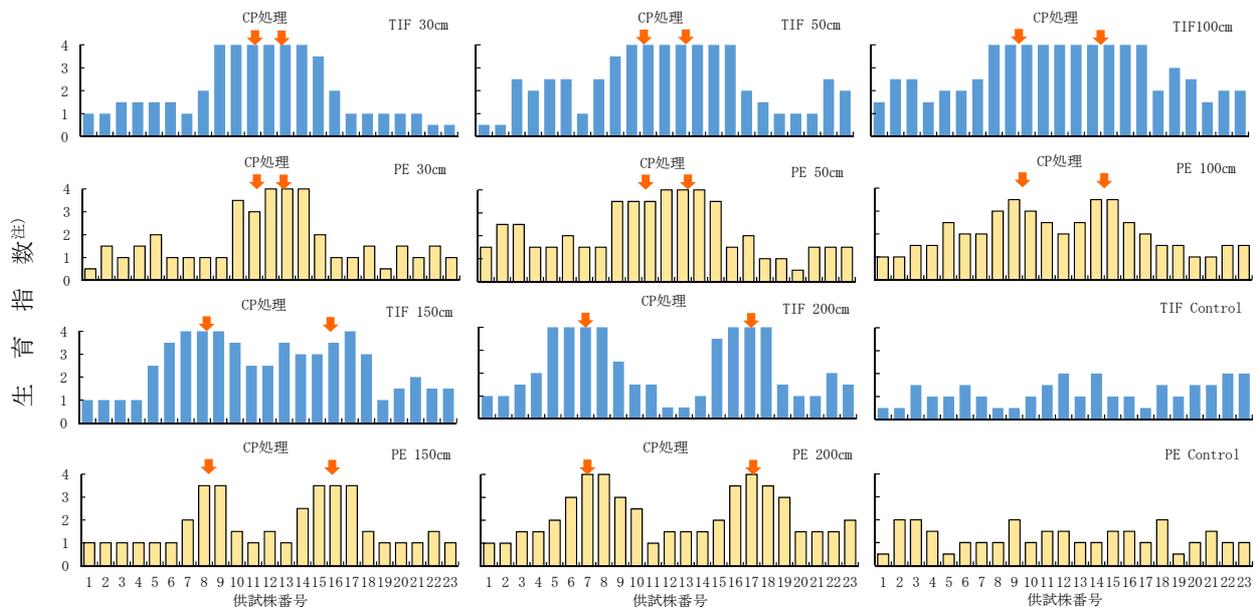
塊根部発病程度および塊根着生数では、TIFを用いた30、50および100cm区では、CP処理位置間における塊根の発病および茎部発病による塊根未形成がほとんど認められなかった。150、200cm区では同位置間における塊根部の発病および茎部発病による塊根未形成が認められた。これに対

し、PEでは30cm区では塊根の発病がほとんど認められなかったが、50cm以上離れると塊根の発病および茎部発病による塊根未形成が認められ、塊根形成数も低い傾向であった(図(4)-22)。

また、中央部分を含めた7株の総合発病度(総合発病指数=(茎部発病度×0.8)+(塊根部発病度×0.2))では、50、100および150cm区でTIFでは5、2.3、33.4、PEでは20.5、38.2、51.4であった(図(4)-23)。

処理地点からの距離別の土壌気相中のCP濃度を測定した結果(2014)、TIF、PEともに処理地点(0cm)では、濃度に大きな差は見られなかった(図(4)-24)。3点処理の50、100cm地点では、TIFがPEと比較して、CP濃度は概ね高く推移した。これは防除効果の結果と一致しており、TIFを用いることで、CPの水平方向への拡散範囲が広がると推察された。サツマイモ立枯病への防除効果が得られるクロルピクリン処理間隔の限界を検討した結果(2015)、畦内のCP濃度は、TIFを用いた区が高く推移したが、150cm区では、両区ともほとんど検出されなかった(図(4)-25)。

以上の結果より、TIFを用いた場合にはCP処理間隔を100cmまで広げられることが可能と考えられた。

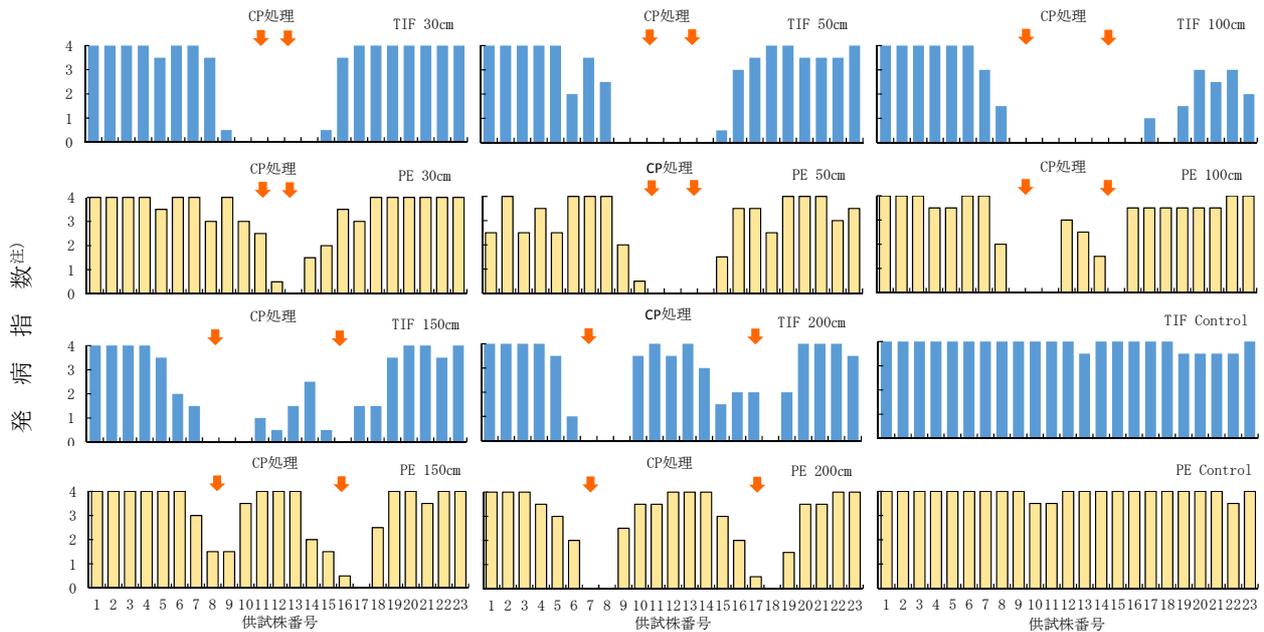


図(4)-20 ガスバリアー性フィルムを用いたクロルピクリン処理間隔の差によるサツマイモ立枯病に対する地上部生育程度

注)生育度は以下の指数に従った。

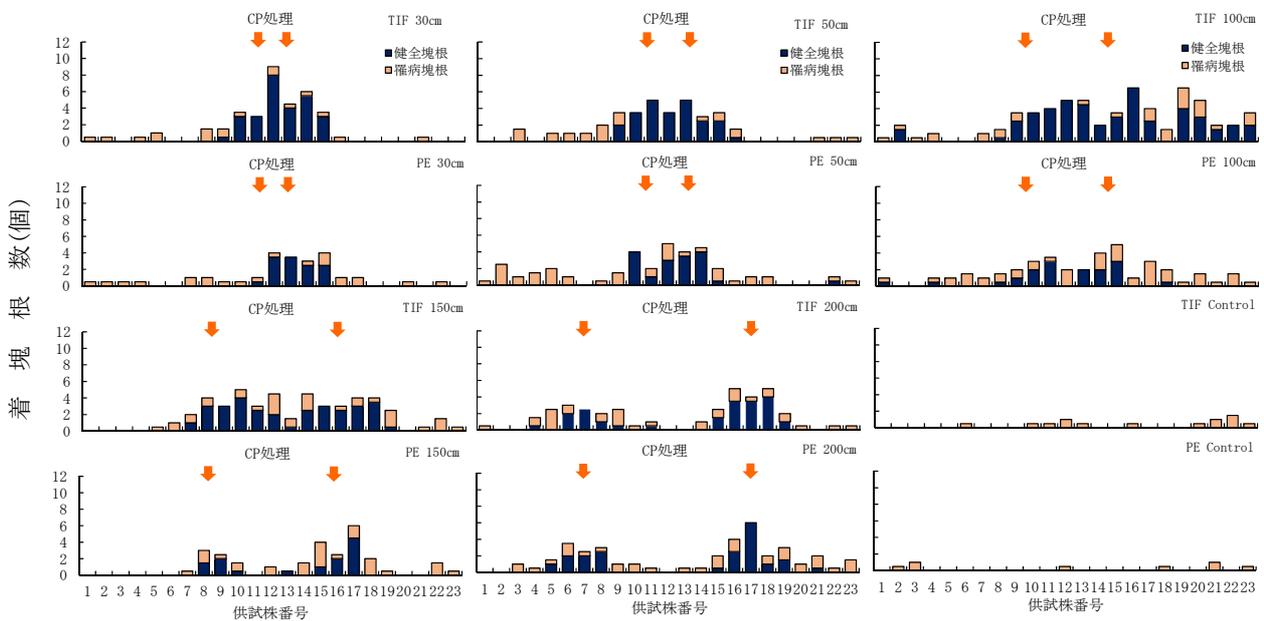
4:健全 3:僅かな萎れ、株の萎凋が認められる 2:株の萎凋、退緑が認められる

1:著しい株の萎凋が認められる 0:枯死

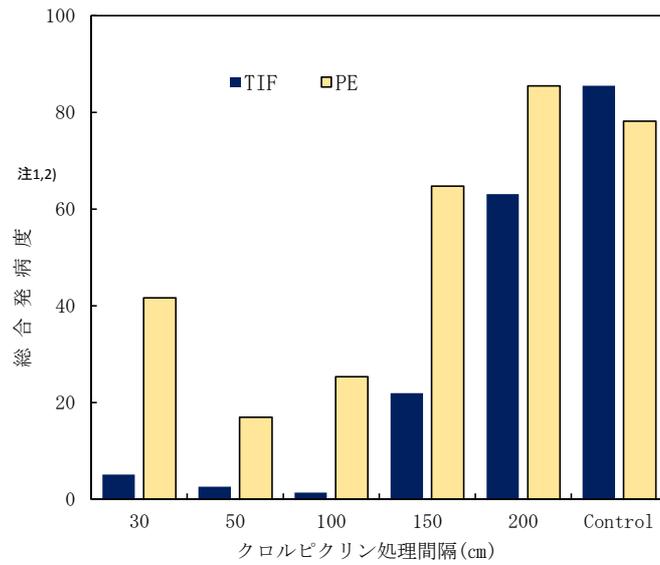


図(4)-21 ガスバリアー性フィルムを用いたサツマイモ立枯病に対する
クロルピクリン処理間隔の限界と防除効果(茎部)

注) 茎部発病指数は以下の指数に従った
 0: 発病を認めない 1: わずかな病斑を認める 2: 小さな病斑(2mm未満)が多い
 3: 大きな病斑(5mm以上)も認める 4: 大きな病斑が多い又は枯死

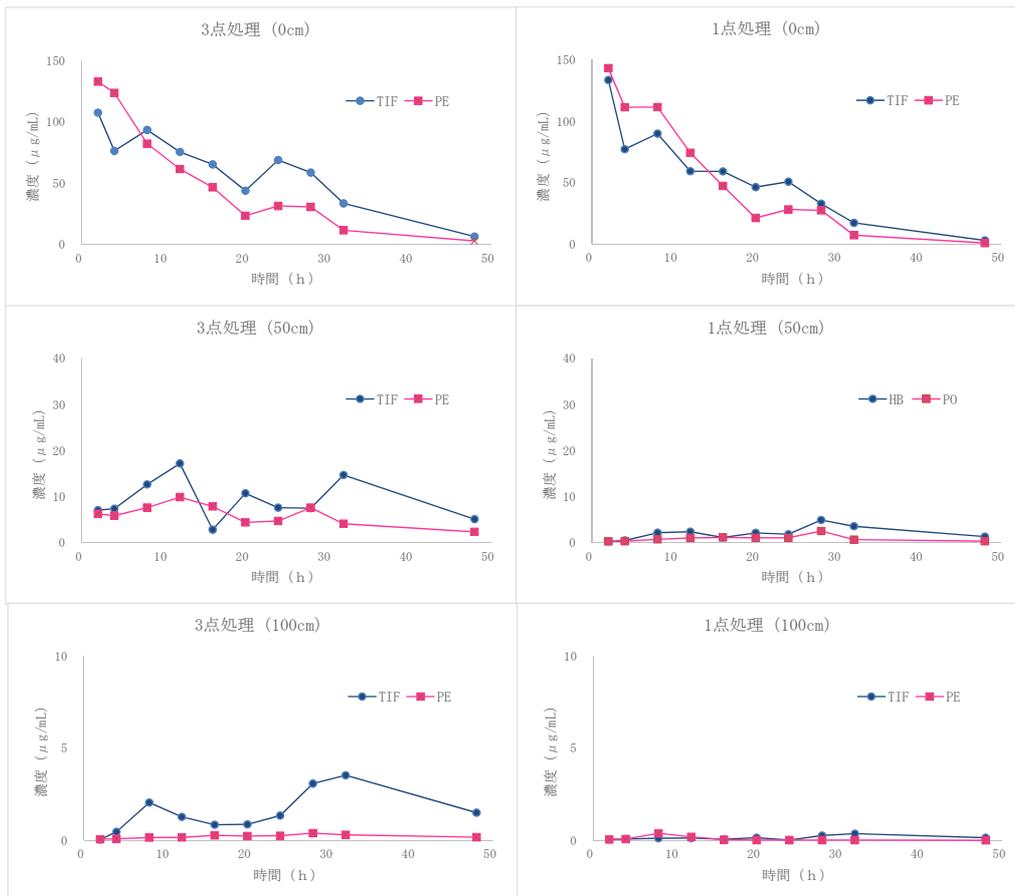


図(4)-22 ガスバリアー性フィルムを用いたサツマイモ立枯病に対する
クロルピクリン処理間隔の限界と防除効果(塊根部)

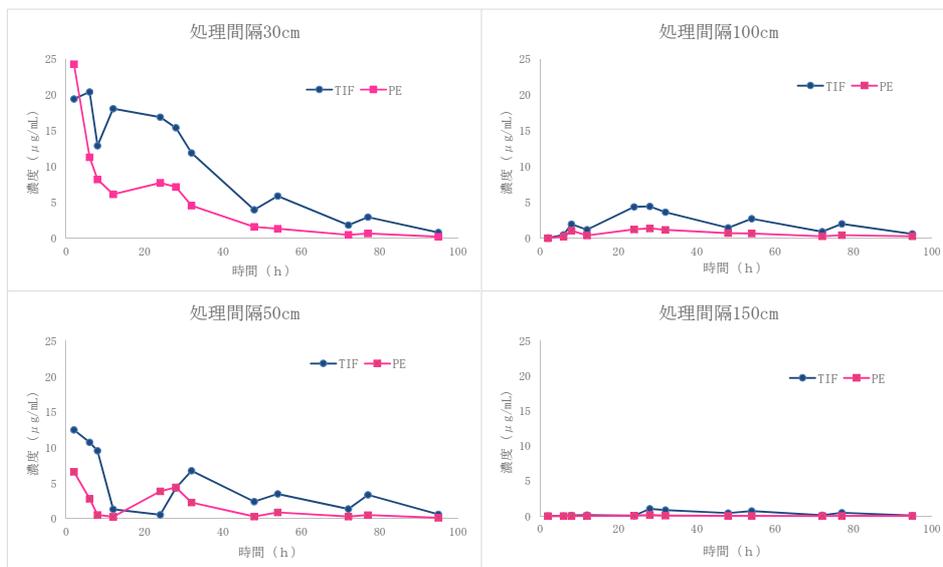


図(4)-23 ガスバリアー性フィルムを用いたサツマイモ立枯病に対するクロロピクリン処理間隔の限界と防除効果(総合発病度)

注1) 中央部分を含めた7株について以下の式により求めた。
 総合発病度= (基部発病度×0.8)+ (塊根部発病度×0.2)
 注2) 塊根未形成株は含まない。



図(4)-24 畦内のクロロピクリンの濃度の推移 (左:クロロピクリン3点処理区, 右:クロロピクリン1点処理区)



図(4)-25 室内のクロルピクリンの濃度の推移

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

CPの大気中への放出抑制のためTIFを用い、サツマイモ立枯病防除を対象に処理量の検討を行った。その結果、TIFを用いた場合、CPの処理量を1/2程度まで削減してもサツマイモ立枯病への防除効果は得られることが明らかとなった。そのため、CPの投下量が従来より削減でき、大気中へのCP放出を大幅に抑制できると考えられる。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

土壌くん蒸剤の大気中への放出に伴う、周辺環境への危被害を防止する観点からTIFの活用を推進することができる。TIF活用にあたっては、処理量を低減することが可能であり、リスク削減技術の普及の際に、使用されることが見込まれる。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

特に記載すべき事項はない。

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表（査読なし）>

特に記載すべき事項はない。

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) 三宅圭、田中昭人、小原裕三、中島典行、大久保潤：日本農薬学会（2014）
「農業用マルチフィルムの土壌くん蒸剤クロロピクリン透過速度の評価」
- 2) 米本謙悟、田中昭人、三宅圭、村井恒治、小原裕三：日本植物病理学会（2014）
「ガスバリアー性フィルムを利用したクロロピクリン剤畦内拡散とサツマイモ立枯病に対する防除効果」
- 3) 三宅圭、田中昭人、米本謙悟、中島典行、小原裕三：日本砂丘学会（2014）
「土壌くん蒸剤クロロピクリンの水中および砂質土壌中での分解評価」
- 4) 米本謙悟、田中昭人、三宅圭、村井恒治、小原裕三：九州病害虫研究会（2015）
「ガスバリアー性フィルムを用いたクロロピクリンの畦内濃度とサツマイモ立枯病に対する防除効果の範囲」
- 5) 米本謙悟、田中昭人、三宅圭、村井恒治、小原裕三：日本植物病理学会（2015）
「ガスバリアー性フィルムを用いたサツマイモ立枯病に対するクロロピクリン処理間隔の限界と防除効果」
- 6) 米本謙悟、田中昭人、大黒香奈美、村井恒治、小原裕三：九州病害虫研究会（2016）
「ガスバリアー性フィルムを用いたクロロピクリン処理の最適化とサツマイモ立枯病に対する防除効果」
- 7) 田中昭人、米本謙悟、村井恒治、大黒香奈美、小原裕三、塩見崇史：平成27年度植物防疫関係試験研究発表会（2016）
「ガスバリアー性フィルムを利用したクロロピクリンの大気中への揮散抑制効果」
- 8) 米本謙悟、田中昭人、大黒香奈美、村井恒治、小原裕三：平成27年度植物防疫関係試験研究発表会（2016）
「ガスバリアー性フィルムを利用したクロロピクリンによるサツマイモ立枯病に対する防除効果」

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) センターフェア2015 研究成果発表会（H27年11月8日、徳島県立農林水産総合技術支援センター、観客約30名）にて成果紹介

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) 米本謙悟・田中昭人・坂口謙二 (2008) : 土壌くん蒸剤のマルチ畦内消毒における低透過性フィルムを利用したガス透過抑制とサツマイモ立枯病に対する防除効果の向上. 徳島農研報. 5:45~51.
- 2) E. H. Ridge (1976) : Studies on soil fumigation-II Effects on bacteria, Soil Biology and Biochemistry. 8:249~253.
- 3) E. H. Ridge (1976) : Studies on soil fumigation-III Effects on fungi, Soil Biology and Biochemistry. 8:261~266.
- 4) 福西務 (1977) : 土壌くん蒸剤のマルチ畦内消毒による土壌病害防除 I クロロピクリンくん蒸による土壌消毒の効果と葉害に関する基礎的調査. 徳島農試研報. 15:33~42.
- 5) 金磯泰雄 (1999) : サツマイモ立枯病に対する各種薬剤の防除効果とダゾメット粉粒剤の実用性. 徳島農試研報. 35:26~33.
- 6) Person, L.H. and Martin W.J. (1940) : Soil rot of sweetpotatoes in Louisiana. Phytopathology. 30:913~926.
- 7) 貞野光弘・広田恵介・河本征臣・土屋建一・鈴木孝仁 (1991) : 徳島県の砂地畑における *Streptomyces ipomoeae* によるサツマイモ立枯病の発生. 日植病報. 57:433~434 (講要).
- 8) 島本文子・市原勝・奴田原誠克・竹内繁治 (2000) : 土壌くん蒸時における臭化メチル放出量調査と低透過性フィルムによる放出抑制. 高知県農技センター研報. 9:25~35.
- 9) 清水恵美・増田大祐・西村康平・橋本尚 (2006) : 砂丘地における土壌消毒後のガス難透過性フィルムの利用がメロンのネコブセンチュウの発生抑制に及ぼす影響. 石川農総研センター研報. 27:25~31.
- 10) 篠崎毅・松崎幸弘・安永忠道 (2003) : 臭化メチル代替技術によるイチゴ萎黄病の防除. 愛媛農試研報. 37:27~34.
- 11) 鈴木孝仁・宮下清貴・工藤和一・鬼木正臣 (1986) : *Streptomyces ipomoeae* によるサツマイモ立枯病 (新称), 日植病報. 52:505 (講要).
- 12) 鈴木孝仁 (1987) : サツマイモ立枯病とその病原菌. 植物防疫. 41:307~311.
- 13) 田中茂・関幸雄・中村幸二・小松仁 (1996) : プラスチックシートを用いた臭化メチルの透過試験 (第2報) 圃場試験. 日本農薬学会誌. 131 (講要).
- 14) 田中茂・鈴木清志・山本純・倉辻孝俊・宮内博幸・今宮俊一郎・関幸雄 (2000) : オルガロイフィルムによる土壌くん蒸剤 (クロロピクリン, MITC, 1,3-D) の透過性能. 日本農薬学会誌. 25:82 (講要).
- 19) 谷博・林捷夫 (1996) : 砂地畑におけるクロロピクリンの拡散 (第1報) フィルムの厚さ,

- 種類等処理条件がクロルピクリンの透過性に及ぼす影響. 徳島農試研報. 32:54~58.
- 20) 谷博・林捷夫(1996) : 砂地畑におけるクロルピクリンの拡散(第2報) マルチ畦内消毒における畦表面および畦間からの拡散と土壤中拡散. 徳島農試研報. 32:59~63.

(5-1303) 日本型農業環境条件における土壌くん蒸剤のリスク削減と管理技術の開発

(5) 高知県施設栽培における土壌くん蒸剤のリスク削減技術の現地実証に関する研究

高知県農業技術センター

生産環境課 農薬管理担当 市原勝

野村誠・清遠亜沙子・佐藤敦彦

土壌・肥料担当 安岡由紀

平成25～27年度累計予算額：13,086千円（うち平成27年度：3,745千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

高知県の施設ニラ生産で使用されるカーバムナトリウム塩液剤およびダゾメット剤の施用量の低減化を図るために必要な土壌くん蒸処理条件を明らかにした。カーバムナトリウム塩液剤およびダゾメット剤の処理後に発生するメチルイソチオシアネート(MITC)の簡易分析法を開発し、ポリエチレンフィルム(PE)を使用した慣行での生産施設周辺におけるMITCの環境への放出実態を明らかにした。また、ガスバリアー性フィルム(EVOH)とPEとを用いて、薬剤処理後、経時的に土壌中、被覆フィルム内、外、および施設周辺の空気を採取しMITC濃度を測定し、放出抑制技術としてEVOH適用した際の有効性を確認した。カーバムナトリウム塩液剤およびダゾメット微粒剤を処理した生産現場周辺環境中のMITC濃度のモニタリングを実施し、ガスバリアー性フィルムを使用することでUS EPAによって設定されたMITCの急性吸入曝露濃度評価値 $66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (25°C , 1atm)を超えるリスクが低いことを確認した。土壌くん蒸処理全期(初期～後期)における地域レベルでの大気環境中のMITC濃度を測定し、US EPAの評価値と比較して1/10以下であることを確認し、施設ニラ生産地域の土壌くん蒸処理盛期において、カーバムナトリウム塩液剤やダゾメット微粒剤を処理した圃場からの周辺環境への放出影響が軽微であることを明らかにした。また、(株)数理計画が構築した2つの大気経路暴露濃度シミュレーションモデルDiMCFDとCALPUFFの作成において具体的データを提供した。

[キーワード]

土壌くん蒸剤、放出抑制技術、ガスバリアー性フィルム、MITC、モニタリング

1. はじめに

土壌くん蒸剤は農作物の連作障害を回避するために必要不可欠なフィルムだが、ガス化して大気中に放出されやすいため、米国や欧州(EU)ではその使用が厳しく制限されており我が国においても放出量削減が求められているが、その評価基準さえ存在しない。高知県においても臭化メチル代替剤としてカーバムナトリウム塩液剤およびダゾメット剤の使用が増加しており農薬の安全性の向上が求められるなか、行政指導の根拠となる具体的データが必要となっている。

2. 研究開発目的

大気経由暴露濃度シミュレーションモデルDiMCFDとCALPUFF構築のため、高知県の施設ニラ生産で使用されるカーバムナトリウム塩液剤およびダゾメット剤の使用によって発生するMITCの濃度を測定し、US EPAの設定する評価値と比較することで施設ニラ生産地域におけるMITC放出の実態を把握するとともに、放出抑制技術としてのガスバリアー性フィルムの有効性について検討する。

また、DiMCFDモデルに対しては施設周辺のMITC濃度を測定し、供試薬剤量、処理面積、気温、地温、風向、風速等のデータを蓄積し、CALPUFFモデルに対しては、数 μm レベルでMITC濃度を1か月以上測定し、気象データと合わせてモデル解析に資する。

3. 研究開発方法

(1) MITC捕集・分析法の確立

大気中のMITC捕集・分析を安全かつ簡便に実施するため、メチルイソチオシアネート標準品(MITC 97%含有 和光純薬工業社製)、供試捕集管はOSHA Versatile Samplerチューブ(XAD-2、270/140mg、以後OVSと表記)、活性炭:Coconuts Charcoalチューブ(400/200mg、以後CCと表記)、Anasorb 747(140/70mg、以後747と表記、全てSKC社製)、Puf/XAD-2/Pufチューブ(3cm/1500mg/3cm、以後PXPと表記)を用いて、捕集管、溶出溶媒、溶出方法を検討した。

(2) ガスバリアー性フィルムと慣行農ポリフィルムの比較

慣行とガスバリアー性フィルムの性能比較するため、平成25年8月14日14時(処理時土壌温度48 $^{\circ}\text{C}$ 、フィルム直下温度56 $^{\circ}\text{C}$)、ガスバリアー性フィルムおよび慣行農ポリフィルム被覆下で薬剤処理した後、経時的に土壌気相中(土壌表面と表面より10cmの深さ)のMITC濃度を測定した。また、低温期における放出実態を把握するため、平成26年1月14日6時(処理時土壌温度13 $^{\circ}\text{C}$ 、フィルム直下温度8 $^{\circ}\text{C}$)、離れた2棟の施設内にガスバリアー性フィルム(BSV)または慣行フィルム(FC-50)被覆下でキルパー液剤を60L/10aしたのち、施設内大気およびフィルム直下のMITC濃度を測定した(表(5)-1)。

表(5)-1 試験設計

試験区名	フィルムの種類と厚さ(mm)	キルパー液剤 使用量 (L/10a)	処理面積 (m^2)	処理方法	被覆方法
ガスバリアー区	エチレンビニルアルコール(EVOH、0.05mm)	60	58.75	被覆灌水処理	べたがけ
慣行区	ポリエチレン(PE、0.05mm)	60	151.92	被覆灌水処理	べたがけ

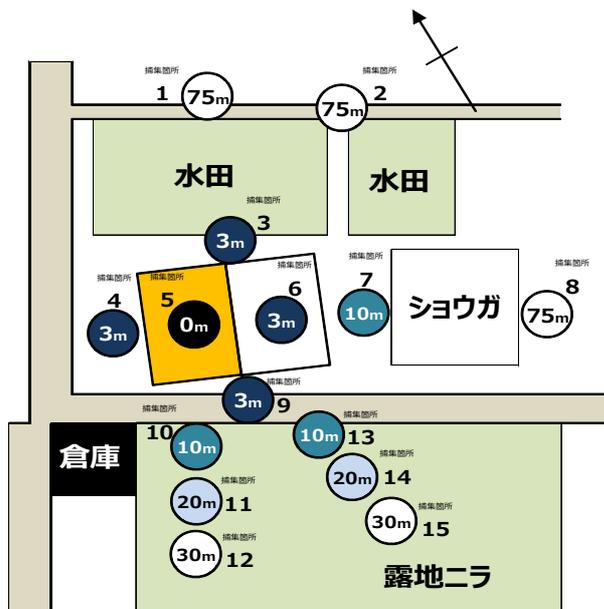
注)使用量の薬液を100倍希釈して灌水処理

フィルムは新品、固定は30cm幅の水封ポリダクトを使用

(3) カーバムナトリウム塩液剤を処理した生産現場周辺環境中のMITC濃度のモニタリング

生産現場におけるカーバムナトリウム塩液剤の処理により発生するMITCの大気経由の曝露状況を評価するため、高知県香南市野市町内の2か所（父養寺、下井）で試験を行った。父養寺にある24aの鉄骨パイプハウス(サイド開放)内の約12aをポリエチレンフィルム(厚さ0.05mm、以後慣行フィルムと表記)で被覆し、灌水チューブを用いてカーバムナトリウム塩液剤(含有率30%)80Lを50~60倍に希釈し、2014年5月28日午前8時に灌注処理した。処理後直ちにMITC捕集管としてCoconuts Charcoalチューブ(吸着剤:活性炭、400mg/200mg、以後CCと表記)を接続したエアサンプラーを施設内および施設外周辺14カ所(フィルム端から3~75mの地点、高さ1.2m、図(5)-1)に配置し、大気をエアサンプラーで0.4L/分、4時間毎(捕集時間:薬剤処理後0~4、4~8、8~12、12~24、24~28、28~32、50~54、70~74、289.5~293.5、312~316時間)に捕集した。大気捕集後、直ちにCCを実験室に持ち込み、吸着されたMITCをアセトン15mLで溶出させ、GC-FTDにより分析した。また、施設周辺環境中の気温、湿度、風向、風速を複合気象センサーWXT510(VAISALA社製)で測定した。

ガスバリアー性フィルムを被覆した試験を2014年7月7日午前7時より開始した。下井にある10aの鉄骨パイプハウス(サイド開放)内の約9.5aをガスバリアー性フィルム(厚さ:0.05mm、バリアー層:エチレンビニルアルコール、商品名:パリアスターV)で被覆し、灌水チューブを用いてカーバムナトリウム塩液剤(含有率30%)57Lを50~60倍に希釈し、灌注処理した。処理後直ちにMITC捕集管としてCCを接続したエアサンプラーを施設内および施設外周辺9カ所(フィルム端から3~20mの地点、高さ1.2m、図(5)-2)に配置し、0.4L/分、4時間毎(捕集時間:薬剤処理後0~4、4~8、8~12、24~28、28~32、51~55、96~100、168~172、507~511、534~538時間)に大気を捕集した。以後の操作を父養寺の試験と同様に行った。いずれの試験においてもCCの交換時、フィルム下気中のMITC濃度の測定のため土壌表面とフィルムの間の大気を0.4L捕集し、上述と同様に溶出・分析した。その他、大気捕集中の気温、湿度、風向、風速、を測定した。



図(5)-1 父養寺での捕集箇所の概略図
数字はフィルム端からの距離(m)



図(5)-2 下井での捕集箇所の概要
数字はフィルム端からの距離(m)

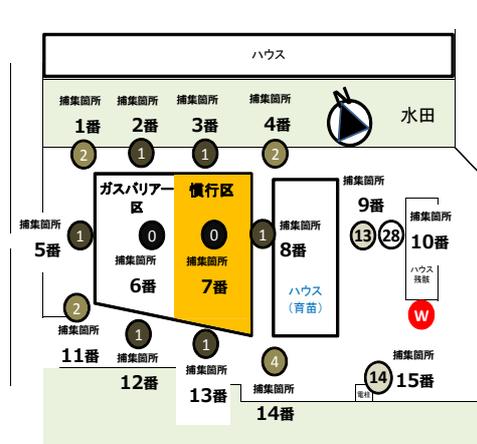
(4) ダゾメット微粒剤処理した生産現場周辺環境中のMITC濃度のモニタリング

ダゾメット微粒剤処理により発生するMITCの大气経路の暴露状況を評価するため、高知県香南市野市町において、ニラ栽培施設周辺のMITCモニタリング調査を実施した。慣行フィルムを用いた試験は、2015年5月13日午前7時より開始した。鉄骨パイプハウス内(約17a、6連棟)のうち、8.6aにダゾメット微粒剤を25.8kg(30kg/10a相当)処理し、乗用トラクターで十分に耕耘後、処理面積の半分(4.3a)毎に30分ずつ散水した。散水後、フィルム下空気を回収するための実験装置を設置し、慣行フィルム(PE)で被覆した。また、あらかじめ、MITC捕集管としてCC(活性炭600mg(400/200mg))を接続したエアサンプラーをハウス内2カ所およびハウス外周辺13カ所

(ハウス外壁から約1m、2m、4m、13m、14m、28mの地点、高さ1.2、0.6m)に配置し、散水終了直後からエアサンプラーを作動させ、大気を捕集した(図(5)-3)。大気捕集後、直ちにCCを実験室に持ち込み、捕集されたMITCをアセトン15mLで溶出させ、GC-FTDにより分析した。また、CCの交換時、土壌表面-フィルム間の空気を0.4L捕集し、上述と同様に溶出・分析した。更に、調査期間中のハウス外の風向、風速、気温、湿度をWXT510で、ハウス内と地温(畝表面から10cm下)をTR-72wfで測定した。ガスバリアー性フィルムを用いた試験は2015年6月4日より開始した。慣行フィルムを用いた試験は同じハウス内の8.3aにダゾメット微粒剤を24.9kg(30kg/10a相当)処理し、十分に耕耘後、処理面積の半分(約4.2a)毎に40分間散水した。ハウス内外大気とフィルム下空気捕集後の操作は、慣行フィルムのとときと同様に行った。

(5) ガスバリアー性被覆フィルムの性能確認試験(室内試験)

複数種のガスバリアー性フィルムの性能を確認するため、土壌残留濃度の推移とフィルム下大気よりバリアー性能を評価した。土壌残留濃度の推移によるバリアー性能の評価試験として、255mL容ガラス瓶に供試土壌を100g(湿土重、土壌層5cm)入れ、ダゾメット剤を30kg/10a処理し、葉さじを用いて十分に攪拌し、最大含水量の60%になるように脱イオン水を添加した。次に瓶の口をガスバリアー性フィルム(バリアスターV:0.05mm、ハイバリアー:0.03mm、どちらもバリアー層:エチレンビニルアルコール)で覆い、ビニルテープで密封した。その後、40℃暗所下で24、72、166、236.5時間静置した。所定の時間静置後、瓶内の土壌を葉さじでよくかき混ぜ、ディーン・スターク蒸留装置のフラスコに各土壌50g(湿土重)、脱イオン水300mL、シリコン(消泡剤; KM-72)約1mL、酢酸エチル10mL加えて40分間加熱還流した。冷却後、トラップ部の水層および酢酸エチル層を分液漏斗にとり、酢酸エチル5mL、脱イオン水30mLで蒸留装置を洗い、洗液を分液漏斗に合わせた。これに塩化ナトリウムを15g加えて振とうし、酢酸エチル層を分取した。次に液相分離ろ紙を用いて分取液を脱水ろ過し、目盛り付き試験管に取り、酢酸エチル20mL定容とした。これをGC-FTDよりMITC濃度を測定した。なお、加熱還流で供試しなかった土壌を用いて含水率を測定した。



図(5)-3 各捕集箇所とフィルム端からの距離
○の中の数字はハウスからの距離(m)

フィルム下気中の濃度の調査は2014年9月30日午前8時より行った。高知県農業技術センター内の1aの鉄骨ガラスハウス(サイド開放)内の約0.7aにバスアミド微粒剤を30kg/10a処理し、十分に耕耘後、0.3aずつ試験区を設置した。その後2時間散水を行い、散水終了後畝の表面にフィルム下大気を回収するための実験装置を設置した。その後各区をバリアスターV、ハイバリアーで被覆し、水封ポリダクトで封印した。MITC捕集管としてCCを接続したエアサンプラーを用いてフィルム下の大気を0.4L/分、1分間(捕集時間:薬剤処理6、30、54、78、88、102、110、126、150、174時間後)捕集した。大気捕集後、直ちにCCを実験室に持ち込み、吸着されたMITCをアセトン15mLで溶出させ、GC-FTDにより分析した。その他、大気捕集中のハウス内気温、フィルム表面、地温(畝表面より10cm下)を測定した。

(6) 地域環境中におけるMITC濃度のモニタリング (H26・H27)

平成26年度は6月2日～7月1日、平成27年度は4月21日～6月30日同じ場所でモニタリングを実施した。数km²規模での大気中MITC濃度測定のため、STS25連続大気サンプラー(パーキンエルマージャパン社製、図(5)-4、以後STSと表記)を高知県香南市野市町内の5か所に設置した(地上高1.2m、図(5)-5)。吸着管CC(活性炭150mg(100mg/50mg))をSTS25連続大気サンプラーに装填し24時間ごとに吸着管が切り替るように調整して、エアサンプラーを作動させ24時間ずつ大気を吸引した。原則2～3日おきにCCを回収し、ただちに実験室に持ち帰った後、アセトンを5mL流下し、硫酸ナトリウムを添加して脱水処理した。その後、各溶出液をガスクロマトグラフ(FTD)に注入してMITC濃度を測定した。なお、STS設置点の近くで直接日光があたらない場所にTr-72wfを設置し、捕集箇所付近の気象データを採取した。

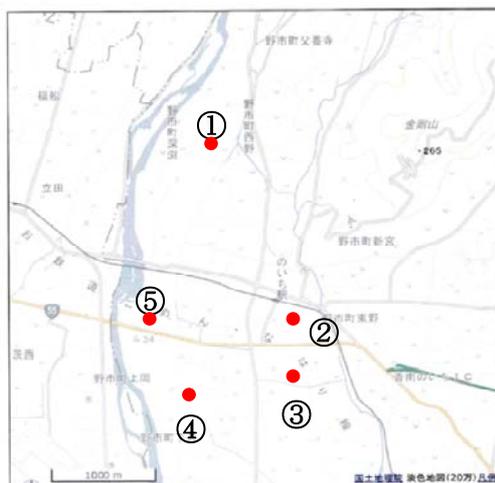


(左) (右)

図(5)-4 STS25 連続大気サンプラー

(左)全景: 大きさは縦30cm×横40cm×高さ20cm

(右)内部: 右側にあるロータリーに捕集管をセットする



図(5)-5 各観測点の地理図

国土地理院より引用

- ①野市町深淵(周囲:畑作地)
- ②野市町西野(周囲:住宅地)
- ③野市町下井(周囲:水田)
- ④野市町下井(ニラ施設横)
- ⑤野市町下井(ニラ施設横)

(7) カーバムナトリウム塩液剤およびダゾメット剤由来MITCの各温度別フィルム下大気と土壌中濃度の推移調査（室内試験）

(5)-7-1 大気中濃度測定

約310mL（内径面積24cm²）容ガラス瓶に供試土壌を100g（含水率4.0%、土壌層5cm）入れ、カーバムナトリウム塩液剤50倍希釈液を3.6mL（原液60L/10a相当）または、ダゾメット微粒剤36mg（30kg/10a相当）処理した後、最大含水量の60%になるように脱イオン水を添加した。次に瓶の口を慣行フィルム、またはガスバリアー性フィルムで覆い、フィルム端をビニルテープで密封した後、15、25、35℃暗所下で24、72、168、240時間静置した。所定の時間静置後、ガスタイトシリンジをフィルムにさし込んでフィルム—土壌間の空気を2mL以上吸引し、シリンジの目盛りを2mLに調整した。その後アセトン5mL中に注入、2回ポンピングして試験溶液を得た。これをGC-FTDに注入しMITC濃度を測定した。

(5)-7-2 土壌残留濃度測定

5-3-1)で所定の時間静置後に得た土壌を葉さじでよくかき混ぜ、ディーン・スターク蒸留装置のフラスコに各土壌（生土）50g、脱イオン水300mL、シリコン（消泡剤；KM-72）約10mL、酢酸エチル10mLを加えて40分間加熱還流した。冷却後、トラップ部の水層および酢酸エチル層を分液漏斗にとり、酢酸エチル5mL、脱イオン水30mLで蒸留装置を洗い、洗液を分液漏斗に合わせた。これに塩化ナトリウムを15g加えて振とうし、酢酸エチル層を分取した。次に液相分離ろ紙を用いて分取液を脱水ろ過し、目盛り付き試験管に取り、酢酸エチル20mL定容とした。これをGC-FTDに注入しMITC濃度を測定した。加熱還流に供試しなかった土壌を用いて含水率を測定し、生土の残留分析結果から乾土あたりの残留濃度を算出した。

4. 結果および考察

(1) MITC捕集・分析法の確立

MITCの捕集に用いる捕集管と溶出溶媒の組み合わせを検討したところ、吸着剤XAD-2は酢酸エチル、活性炭(CCおよび747)はアセトンを使用すると回収率が向上した(表(5)-2)。OVSおよびPXPでは30分以上サンプリングすると回収率が著しく低下した(表(5)-3)。CCは、サンプリング時間の経過とともに回収率が減少していく傾向が見られたが、サンプリング時間60～240分における回収率は60%以上で有意な差は見られなかった。ガスクロマトグラフにおいてMITCは0.02ngまで定量できたことから、大気を0.4L/分の流量で60～240分採取し、採取液15mLのうち2μLを注入した場合の1m³あたりで算出した定量下限値は1.6～6.3μg/m³であった(表(5)-4)。この数値はUS EPAによって設定されたMITCの急性吸入曝露濃度評価値66μg/m³(25℃, 1atm)の1/10以下程度の値であった。

以上の結果より、大気中MITCのモニタリングには捕集管にCCを用いて、毎分0.4L大気を240分捕集し、アセトン15mLに溶出することとした。

表(5)-2 各吸着管と溶媒による回収率結果

吸着剤	捕集管	区分	溶出溶媒		
			酢酸エチル	アセトン	酢酸エチル /ヘキサン (1:1)
XAD-2	OVS	R	88.3	59.5	43.5
		SD	1.0	26.6	10.4
		CV	1.1	44.8	24.0
活性炭	CC	R	59.8	69.1	50.4
		SD	0.6	3.5	1.4
		CV	1.1	5.1	2.8
	747	R	50.8	63.3	64.0
		SD	13.7	2.2	5.9
		CV	26.9	3.6	9.3

注) 単位 : %

R : 平均回収率、SD : 標準偏差、CV : 変動係数

表(5)-3 各サンプリング時間におけるMITC回収率の推移

捕集管	区分	サンプリング時間(分)									
		0	1	10	30	60	120	240	480	720	1440
OVS	R	93.7	87.0	75.6	31.6	19.2	-	-	-	-	-
	SD	6.7	3.9	15.1	5.7	4.3	-	-	-	-	-
	CV	7.2	4.5	20	18.2	22.6	-	-	-	-	-
PXP	R	96.0	77.3	23.2	4.4	<1.0	-	-	-	-	-
	SD	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	CV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CC	R	74.6	74.8	73.0	70.1	69.5	63.7	66.5	57.5	51.9	39.5
	SD	3.5	2.8	4.1	1.1	5.2	1.8	2.5	0.5	4.7	2.9
	CV	4.7	3.8	5.6	1.5	7.5	2.8	3.8	0.9	9	7.4

注) 単位 : %

R : 平均回収率、SD : 標準偏差、CV : 変動係数

- : 試験未実施、データなし

OVS、CC : n=3, PXP : n=2

表(5)-4 大気1m³あたりの定量下限値

サンプリング時間(分)	1	10	30	60	120	180	240
大気吸引量(L)	0	4	12	24	48	72	96
定量下限値($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	375	37.5	12.5	6.3	3.1	2.1	1.6

注) 吸引量 : 0.4L/分、溶出液15mL、注入量2 μL のとき

(2) ガスバリアー性フィルムと慣行農ポリフィルムの比較

夏期のフィルム比較試験において、土壌気相中MITC濃度は慣行区で、処理1日後の115.2mg/m³をピークに減少したが、バリアー区の濃度は慣行区の約5倍の濃度で推移した(表(5)-5)。冬期調査における比較では、ガスバリアー性フィルム区では、施設内大気中のMITC濃度は5μg/m³以下で推移した(表(5)-6)。被覆フィルムを撤去直後にMITC濃度が上昇したものの、EPAの基準値以下で推移した。慣行区では、施設内大気において処理後8~12時間の捕集で293μg/m³と最もMITCの濃度が高くなったが、24時間経過後はEPAの基準値以下となり、処理21日経過後は定量下限値以下まで低下した。ガスバリアー性フィルムと慣行フィルムを比較すると施設内の大気におけるMITC濃度に15倍以上の差が生じた。慣行フィルムでは厳寒期においてもMITCがフィルムを透過して大気に放出された。以上より、ガスバリアー性フィルムを使用することで大気中に放出されるMITC量を削減できることがわかった。

表(5)-5 土壌気相のMITC濃度(被覆資材別)

試験区名	被覆資材	処理後経過日数(日)			
		1	3	7	14
ガスバリアー区	EVOH	565.8	88.1	1.8	<0.4
慣行区	PE	115.2	22.7	0.4	<0.4

注) 単位 : mg/m³

n=2

表(5)-6施設内大気とフィルム直下のフィルム別MITC濃度の推移

資材名	捕集区	サンプリング期間										
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8**	S9	S10	
BSV	施設内	1.2m	<2.0*	<2.0*	2.2	<2.0*	2.6	<2.0*	<2.0*	18.8	8.2	<2.0*
	大気	0.6m	<2.0*	<2.0*	<2.0*	<2.0*	2.9	<2.0*	<2.0*	21.0	10.0	<2.0*
	フィルム直下		4.4	15.5	16.4	17.5	33.0	9.8	13.8	<0.4*	-	-
FC-50	施設内	1.2m	150.7	222.9	265.4	49.9	51.7	11.5	19.3	<2.0*	<2.0*	<2.0*
	大気	0.6m	160.5	217.6	293.9	52.8	45.0	10.3	14.3	<2.0*	<2.0*	<2.0*
	フィルム直下		<0.4*	<0.4*	<0.4*	<0.4*	0.9	0.5	0.6	<0.4*	-	-

注) 単位 : 施設内 ; μg/m³、フィルム直下 ; mg/m³定量下限値 : 施設内 ; 2.0μg/m³、フィルム直下 ; 0.4mg/m³

施設内大気各高さ : n=1、フィルム直下 : n=2

S1 : 1/14 6:00~10:00、S2 : 10:00~14:00、S3 : 14:00~18:00、S4 : 1/15 6:00~10:00、S5 : 1/17 10:00~14:00

S6 : 1/21 10:00~14:00、S7 : 1/28 10:00~14:00、S8 : BSV ; 2/4 10:30~14:30、FC-50 ; 2/4 10:50~14:50

S9 : BSV ; 2/4 14:30~18:30、FC-50 ; 2/4 14:50~18:50、S10 : 2/11 10:00~14:00

* : 検出有り

** : 被覆資材撤去 (フィルム直下のサンプリングは被覆資材撤去直前)

- : 試験未実施

(3) カーバムナトリウム塩液剤を処理した生産現場周辺環境中のMITC濃度のモニタリング

慣行フィルム被覆の調査において、調査期間中における圃場周辺の平均気温は21.4℃、平均風速は2.2mであり、風向は昼：南、夜間：北が多かった。ガスバリアー性フィルム被覆の調査では、調査地点最寄りのアメダス(南国日章)のデータによると、調査期間中の平均気温は26.5℃、平均風速は2.6mであり、風向は昼：南、夜間：北が多かった。慣行フィルムを畝上に被覆したハウス内および周辺大気中のMITC最大濃度は、ハウス内で231μg/m³(捕集箇所5番、S1)、周辺では3m、10mの地点でそれぞれ135μg/m³(捕集箇所3番、S1)、16.4μg/m³(捕集箇所9番、S4)であり、これらはいずれも処理後24時間以内に観測された(表(5)-7)。一方、ガスバリアー性フィルムを被覆した場合は、ハウス内で113μg/m³(捕集箇所4番、S2)、周辺では3mの地点でそれぞれ8.6μg/m³(捕集箇所7番、S1)であり、これらはいずれも処理後24時間以内に観測された。周辺10m以上の地点では2.0μg/m³未満(捕集箇所9、10番)で推移した(表(5)-8)。フィルム下気中のMITC平均濃度の結果では、慣行フィルムを被覆した場合で処理4時間後の735mg/m³をピークに減少し、32時間後は104mg/m³、72時間以降は4mg/m³未満であった(表(5)-9)。ガスバリアー性フィルム被覆時では、処

表(5)-7 施設内および周辺環境の大気 MITC 濃度の推移

(カーバムナトリウム塩、慣行資材、父養寺)

捕集箇所	サンプリング期間									
	処理後 0~4h	処理後 4~8h	処理後 8~12h	処理後 12~24h	処理後 24~28h	処理後 28~32h	処理後 50~54h	処理後 70~74h	処理後 293.5~293.5h	処理後 312~316h
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
1	3.3	3.5	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	nd	nd	nd	nd
2	3.2	<2.0	<2.0	—	<2.0	<2.0	nd	nd	—	—
3	134.5	109.1	37.3	—	14.6	13.6	<2.0	<2.0	nd	nd
4	5.4	12.1	19.5	—	<2.0	<2.0	nd	nd	nd	nd
5	230.8	117.5	87.3	12.9	57.9	33.1	5.0	<2.0	nd	nd
6	4.9	2.2	2.1	—	<2.0	<2.0	nd	nd	nd	nd
7	5.0	<2.0	<2.0	—	<2.0	<2.0	nd	nd	nd	nd
8	nd	nd	nd	—	nd	nd	nd	nd	—	—
9	7.4	nd	9.5	16.4	<2.0	nd	nd	nd	nd	nd
10	4.9	nd	6.7	9.7	<2.0	nd	nd	nd	—	—
11	4.2	nd	5.7	8.3	<2.0	nd	nd	nd	—	—
12	12.1	<2.0	11.4	25.9	<2.0	nd	nd	nd	nd	nd
13	<2.0	nd	<2.0	<2.0	nd	nd	nd	nd	—	—
14	<2.0	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	—	—
15	<2.0	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	—	—

単位: μg/m³
 定量下限値: 2.0μg/m³
 S1:5/28 8:00~12:00, S2:12:00~16:00, S3:16:00~20:00
 S4:5/28 20:00~5/29 8:00, S5:8:00~12:00, S6:12:00~16:00
 S7:5/30 10:00~14:00 S8:5/31 10:00~14:00, S9:6/9 9:30~13:30, S10:6/10 8:00~12:00
 高さ:1.2m (n=1), —:試験未実施, nd:非検出, S8:被覆資材開放前, S10:被覆資材開放後

表(5)-8 施設内および周辺環境の大気 MITC 濃度の推移

(カーバムナトリウム塩、ガスバリアー性、下井)

捕集箇所	サンプリング期間									
	処理後 0~4h	処理後 4~8h	処理後 8~12h	処理後 24~28h	処理後 28~32h	処理後 51~54h	処理後 96~100h	処理後 168~172h	処理後 507~511h	処理後 534~538h
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
1	2.8	5.7	2.9	<2.0	2.6	<2.0	<2.0	nd	nd	nd
2	2.2	5.0	2.0	<2.0	3.1	2.2	<2.0	nd	nd	nd
3	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	nd	nd	nd	nd
4	54.6	112.6	12.9	5.8	8.4	2.1	<2.0	nd	nd	nd
5	4.3	5.8	4.5	5.9	<2.0	<2.0	nd	nd	nd	nd
6	4.1	4.3	2.1	<2.0	<2.0	<2.0	nd	nd	nd	nd
7	8.6	3.1	2.9	2.1	nd	<2.0	nd	nd	nd	nd
8	2.1	<2.0	2.1	<2.0	—	<2.0	nd	nd	nd	nd
9	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	nd	<2.0	nd	nd	nd	nd
10	nd	nd	<2.0	nd	<2.0	<2.0	nd	nd	nd	nd

単位: μg/m³
 定量下限値: 2.0 μg/m³
 S1:7/7 7:00~11:00, S2:11:00~15:00, S3:15:00~19:00
 S4:7/8 7:00~11:00, S5:11:00~15:00, S6:7/9 10:00~14:00
 S7:7/11 7:00~11:00 S8:7/14 7:00~11:00, S9:7/28 10:00~14:00, S10:7/29 13:00~17:00
 高さ:1.2m (n=1), —:試験未実施, nd:非検出, S9:被覆資材開放前, S10:被覆資材開放後

表(5)-9 フィルム下気中の MITC 濃度の推移

(カーバムナトリウム塩、慣行資材、父養寺)

処理後経過時間 (h)	4	8	12	24	28	32	50	54	74	78	289.5
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
平均値	735	371.8	185.1	133.4	173.9	104.3	25.8	15.4	2.5	3.7	0.4

単位: mg/m³
 定量下限値: 0.4mg/m³
 n=3

表(5)-10 フィルム下気中の MITC 濃度の推移

(カーバムナトリウム塩、ガスバリアー性、下井)

処理後経過時間 (h)	4	8	12	24	28	32	51	55	96	168	507
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
平均値	638.8	720.9	577.9	425.9	488.0	542.7	312.4	266.6	95.2	2.5	nd

単位: mg/m³
 定量下限値: 0.4mg/m³(S1~S9), 0.3mg/m³(S10), 0.1mg/m³(S11)
 nd:非検出
 n=3

理8時間後の721mg/m³をピークに減少し、96時間後は95mg/m³、168時間以降は3mg/m³未満であった(表(5)-10)。父養寺の試験ではハウス周辺3m以内において、処理直後～8時間後のみUS EPA評価値を超えていたが、下井の試験より、ガスバリアー性フィルムを用いた場合には評価値を超えることはなかった。以上より、本試験条件で慣行フィルムを被覆し、カーバムナトリウム塩液剤を処理した場合は、処理初日・ハウス周辺3mまではMITCの評価値を超過した。ガスバリアー性フィルムを被覆し、カーバムナトリウム塩液剤を処理した場合は、処理初日においてもMITCの評価値を超過しなかった。

(4) ダゾメット剤を処理した生産現場周辺環境中のMITC濃度のモニタリング

慣行フィルム被覆の調査において、調査期間中のハウス周辺の平均気温と湿度は19.7℃、68.2%、ハウス内の平均気温と地温は28.7℃、28.7℃であり、主な風向として、昼間は南、夜間は北が多かった(データ略)。ハウス内の大気中最大MITC濃度は、432.7μg/m³(捕集箇所:7番、高さ1.2m、24～28時間後)、ハウスより1、2、4、14、28m離れた観測点での最大濃度はそれぞれ340.6μg/m³(3番、高さ1.2m、4～8時間後)、38.4μg/m³(4番、高さ1.2m、28～32時間後)、25.9μg/m³(14番、高さ1.2m、76～80時間後)、4.6μg/m³(15番、高さ0.6m、48～52時間後)、定量下限値(2μg/m³)未満であった(表(5)-11)。アメリカ合衆国環境保護省(US EPA)によって設定されたMITCの急性吸入曝露濃度評価値は66μg/m³(25℃、1atm)であるが、ハウス外では周辺1mにおいて処理60時間後まで評価値を超える場所が存在した。フィルム下気中のMITC濃度は、処理56時間後の242.3mg/m³をピークに、80時間後で54.4mg/m³、176時間後は41.4mg/m³、336時間後は定量下限値未満で推移した(表(5)-12)。このことから、ダゾメット剤を処理後、慣行フィルムで被覆した場合、ハウス周辺1m付近において処理後3日間は、US EPAの評価値を超える可能性があることが分かった。

ガスバリアー性フィルム被覆の調査期間中のハウス周辺の気温と湿度の平均は20.9℃、79.4%、ハウス内の気温と地温の平均は27℃、27.2℃であり、主な風向として、昼間は南、夜間は北が多かった(データ略)。ハウス内の大気中最大MITC濃度は、95.7μg/m³(捕集箇所:6番、360～364時間後、被覆フィルム除去後の4時間)であり、ハウスより1、2、4、14、28m離れた観測点で検出した最大濃度は23.3μg/m³(捕集箇所:12番、4～8時間後)、4.1μg/m³(捕集箇所:11番、28～32時間後)、4m以上離れた場所では全て定量下限値(2μg/m³)未満であった(表(5)-13)。ハウス外ではUS EPAの評価値を超えなかった。フィルム下気中のMITC濃度は、処理56時間後の158.4mg/m³をピークに、80時間後で29.8mg/m³、176時間後は10.5mg/m³、360時間後は1.3mg/m³で推移した(表(5)-14)。このことから、ダゾメット微粒剤を処理後、ガスバリアー性フィルムで被覆した場合、ハウス周辺ではUS EPAの評価値を超えるリスクが低いことが分かった。

表(5)-11 ダゾメット微粒剤処理圃場周辺大気中 MITC 濃度の推移(慣行フィルム)

捕集箇所	地上高	処 理 後 経 過 時 間											
		0~4h	4~8h	8~12h	24~28h	28~32h	32~36h	48~52h	52~56h	56~60h	76~80h	172~176h	336~340h
1番	1.2m	< 2.0	3.1	10.5	< 2.0	< 2.0	5.9	nd	< 2.0	2.1	nd	< 2.0	nd
	0.6m	< 2.0	3.0	10.4	< 2.0	< 2.0	2.1	nd	< 2.0	< 2.0	-	-	-
2番	1.2m	45.3	322.7	201.6	18.0	269.2	134.4	nd	167.6	143.5	< 2.0	< 2.0	< 2.0
	0.6m	21.3	21.3	112.8	67.1	159.9	64.5	nd	61.3	92.0	-	-	-
3番	1.2m	72.2	340.6	271.0	114.1	324.4	52.3	< 2.0	167.2	105.6	< 2.0	< 2.0	< 2.0
	0.6m	27.2	160.7	106.3	21.4	119.8	198.3	< 2.0	60.7	97.9	-	-	-
4番	1.2m	4.8	29.0	22.4	6.2	38.4	17.1	< 2.0	14.9	22.5	< 2.0	< 2.0	nd
	0.6m	3.4	25.5	23.8	2.9	25.4	12.1	< 2.0	7.3	12.9	-	-	-
5番	1.2m	< 2.0	7.3	23.5	< 2.0	2.5	-	< 2.0	5.8	10.6	< 2.0	< 2.0	nd
	0.6m	< 2.0	3.6	14.4	< 2.0	< 2.0	-	nd	2.1	2.5	-	-	-
6番	1.2m	24.3	148.6	125.1	48.6	98.8	47.5	2.3	139.4	185.0	< 2.0	15.8	< 2.0
	0.6m	29.0	133.2	128.4	46.2	88.8	43.5	2.5	123.7	178.1	-	-	-
7番	1.2m	61.2	21.6	224.8	432.7	38.7	286.0	60.2	192.6	163.6	202.5	74.9	6.2
	0.6m	83.1	49.5	182.2	391.6	40.5	253.8	28.1	164.4	152.3	-	-	-
8番	1.2m	14.0	44.8	14.0	48.4	15.4	9.7	20.4	9.3	5.7	64.5	< 2.0	nd
	0.6m	7.8	22.1	7.8	31.2	11.9	11.0	19.2	7.0	3.1	-	-	-
9番	1.2m	< 2.0	< 2.0	< 2.0	2.0	-	< 2.0	< 2.0	nd	nd	< 2.0	nd	nd
	0.6m	< 2.0	< 2.0	< 2.0	2.3	-	nd	< 2.0	nd	nd	-	-	-
10番	1.2m	nd	nd	< 2.0	< 2.0	nd	nd	< 2.0	nd	nd	< 2.0	nd	nd
	0.6m	nd	nd	< 2.0	< 2.0	nd	nd	< 2.0	nd	nd	-	-	-
11番	1.2m	< 2.0	< 2.0	13.4	< 2.0	nd	2.1	nd	< 2.0	< 2.0	nd	nd	nd
	0.6m	< 2.0	< 2.0	12.5	< 2.0	nd	1.7	nd	< 2.0	< 2.0	-	-	-
12番	1.2m	< 2.0	< 2.0	36.7	< 2.0	nd	6.7	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 2.0	nd	nd
	0.6m	< 2.0	< 2.0	38.7	< 2.0	nd	4.6	< 2.0	< 2.0	< 2.0	-	-	-
13番	1.2m	23.5	6.3	131.0	27.0	< 2.0	32.5	40.4	3.0	5.5	45.5	nd	nd
	0.6m	5.4	2.7	78.4	10.5	< 2.0	12.5	13.8	< 2.0	< 2.0	-	-	-
14番	1.2m	2.4	< 2.0	< 2.0	15.3	nd	nd	14.5	nd	nd	25.9	nd	nd
	0.6m	3.3	< 2.0	< 2.0	10.9	nd	nd	14.3	< 2.0	nd	-	-	-
15番	1.2m	< 2.0	nd	nd	3.7	nd	nd	3.8	nd	nd	1.3	nd	nd
	0.6m	< 2.0	nd	nd	4.6	nd	nd	3.4	nd	nd	-	-	-

単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 定量下限値: $2.0\mu\text{g}/\text{m}^3$

nd: 非検出、-: データなし

n=1

ダゾメット微粒剤処理時刻: 2015年5月13日6時30分、フィルム除去時刻: 2015年5月27日6時

表(5)-12 慣行フィルム下気中のダゾメット微粒剤由来の MITC 濃度の推

処理後経過時間 (h)	8	12	24	28	32	36	48	52	56	60	76	80	176	336
平均濃度	94.6	110.4	83.3	130.2	155.5	150.6	88.7	145.8	242.3	138.4	95.6	127.7	41.4	< 0.4

単位: mg/m^3 定量下限値: $0.4\text{mg}/\text{m}^3$

n=3

表(5)-13 ダゾメット剤処理圃場周辺環境中のMITC濃度の推移
(ガスバリアー性フィルム)

捕集 箇所	処 理 後 経 過 時 間											
	0~4h	4~8h	8~12h	24~28h	28~32h	32~36h	48~52h	52~56h	56~60h	76~80h	172~ 176h	360~ 364h
1番	nd	< 2.0	2.2	nd	nd	nd	nd	nd	< 2.0	< 2.0	nd	nd
2番	nd	< 2.0	4.6	< 2.0	nd	< 2.0	nd	nd	< 2.0	< 2.0	< 2.0	2.0
3番	nd	< 2.0	< 2.0	< 2.0	nd	< 2.0	nd	nd	< 2.0	< 2.0	nd	< 2.0
4番	nd	< 2.0	nd	< 2.0	nd	< 2.0						
5番	nd	< 2.0	5.2	< 2.0	2.6	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 2.0	nd	< 2.0
6番	4.4	10.9	-	5.2	4.7	3.1	12.9	65.6	29.3	24.1	4.7	95.7
7番	< 2.0	-	nd	4.0	< 2.0	nd	2.2	8.6	2.9	2.1	< 2.0	17.0
8番	nd	< 2.0	nd	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 2.0	nd	< 2.0	2.0
9番	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	< 2.0	< 2.0	nd	nd	< 2.0
10番	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	< 2.0	nd	nd	nd	< 2.0
11番	nd	2.6	2.3	< 2.0	4.1	< 2.0	nd	nd	nd	< 2.0	nd	nd
12番	7.2	23.3	2.0	3.0	7.3	4.0	< 2.0	17.2	7.8	nd	< 2.0	< 2.0
13番	4.4	< 2.0	nd	4.3	2.0	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 2.0	nd	< 2.0	< 2.0
14番	< 2.0	< 2.0	nd	< 2.0	nd	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 2.0	nd	< 2.0	< 2.0
15番	< 2.0	< 2.0	nd	< 2.0	nd	nd	nd	< 2.0	< 2.0	nd	nd	< 2.0

単位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$

定量下限値： $2.0\mu\text{g}/\text{m}^3$

nd：非検出、-：データなし

n=1

ダゾメット微粒剤処理時刻：2015年6月4日6時、フィルム除去時刻：2015年6月19日6時

表(5)-14 ガスバリアー性フィルム下気中のダゾメット微粒剤由来のMITC濃度の推移

処理後経過時間 (h)	8	12	24	28	32	36	48	52	56	60	76	80	176	360
平均濃度	110.1	153.8	67.3	80.8	89.2	70.0	46.0	77.1	158.4	123.4	22.4	29.8	10.5	1.3

単位： mg/m^3

定量下限値： $0.4\text{mg}/\text{m}^3$

n=3

(5) ガスバリアー性被覆フィルムの性能確認試験

40℃暗所下条件で静置した場合の処理24、72、166、236.5時間後の土壤中残留濃度は、バリアスターVでの密封において35.4、3.3、1.8、1.6ppmであり、ハイバリアーでは36.6、3.6、2.2、1.7ppmであった(表(5)-15)。土壤中のMITC残留濃度と経過時間をプロットし、その近似曲線を指数関数で表示したところ、バリアスターVでは $y=21.099e^{-0.013x}$ 、ハイバリアーでは $y=22.326e^{-0.013x}$ であった(R2:バリアスターV;0.76、ハイバリアー;0.77、図(5)-6(a)、(b))。この近似曲線と半減期を $T_{1/2}=\ln(2)/\lambda$ (式(5)-1)で算出したところ、バリアスターV、ハイバリアーともに53.3時間であった(表(5)-16)。

圃場での性能確認試験時の各平均温度は、ハウス内:23.8~29.2℃、フィルム上:24.4~31.2℃、地温:25.2~27.3℃で推移していた。フィルム下気中濃度においては処理後6時間ではバリアスターV被覆下の濃度が高かったが、78時間後にはバリアスターVは定量下限値付近まで低下しており、ハイバリアーの場合は117mg/m³であった(表(5)-17)。本実験ではバリアスターVのフィルム下気中の濃度が78時間以降で1mg/m³以下まで低下していたが、バリアスターVを用いた場合で78時間後でも100mg/m³の濃度を維持できるデータが得られていることと(表(5)-10)、土壤中濃度の推移、半減期の結果よりバリアスターVとハイバリアーは、ほぼ同等のバリアー性能を有することが分かった。

表(5)-15 処理後経過時間と土壤中残留濃度

処理後経過時間(h)	残留濃度(ppm:MITC μg/乾土g)	
	バリアスターV	ハイバリアー
24	35.4	36.6
72	3.3	3.6
166	1.8	2.2
236.5	1.6	1.7

地温40℃に設定

最大容水量の約60%の含水量に調整

n=2

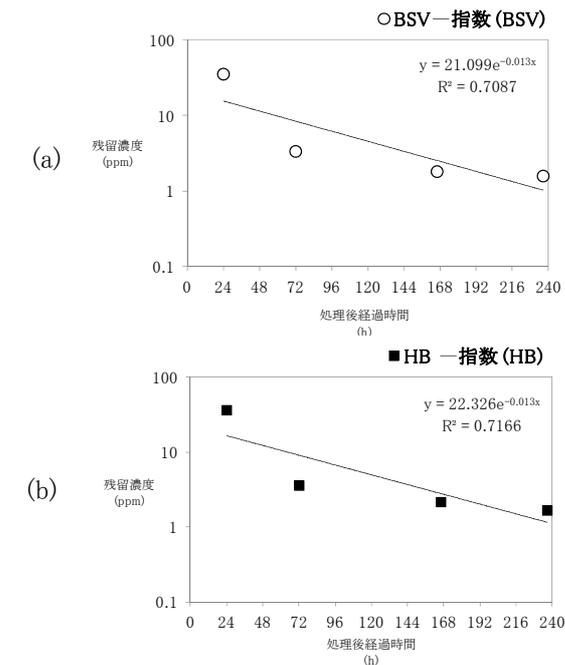
式(5)-1 土壤残留濃度と経過時間の近似曲線

$$T_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}$$

T_{1/2}:半減期

λ:崩壊定数

ln(2):log_e2



図(5)-6 土壤残留濃度と経過時間の近似曲線

(a)バリアスターV(BSV) (b)ハイバリアー(HB)

表(5)-16 土壤残留濃度と経過時間の近似曲線と半減期

	バリアスターV	ハイバリアー
近似曲線	y=21.099e ^{-0.013x}	y=22.326e ^{-0.013x}
λ	0.013	0.013
T _{1/2}	53.3	53.3

表(5)-17 各被覆資材におけるフィルム下気中のMITC濃度の推移

被覆資材名	処理後経過時間(h)									
	6	30	54	78	88	102	110	126	150	174
バリアスターV	581.3	109.2	122.4	0.5	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4
ハイバリアー	477.6	353.7	-	117	50.3	4.8	0.9	< 0.4	< 0.4	< 0.4

単位:mg/m³

定量下限値:0.4mg/m³

-: データ無し

(6) 地域環境中におけるMITC濃度のモニタリング

(6)-1 H26年度調査 (6月2日～7月1日)

各観測点の平均気温と湿度を表(5)-18に示した。また、最寄りのアメダス観測点(南国日章)の気象データでは、この時期の風向は昼:南の風、夜:北の風が多かった。大気中MITC濃度について、観測点1番、2番では定量下限値以下か、非検出であった。観測点3番、4番では定量下限値以下の濃度を検出していることが多かった。観測点5番では6月12日の観測で $3.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ の濃度を検出した(表(5)-19)。これは観測点5番から10m以内にある施設でカーバムナトリウム塩液剤を処理したことが原因であった。以上より本試験条件における地域レベルでの大気中MITC濃度は $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下の濃度であり、カーバムナトリウム塩液剤やダズネット剤を処理した圃場からの周辺環境への流入は低濃度で推移していることが分かった。

表(5)-18 各観測点の平均気温と湿度

日付	観測点番号									
	①		②		③		④		⑤	
	気温 (°C)	湿度 (%)								
6/2～6/6	22.4	82.7	22.4	77.4	22.1	86.6	22.0	86.2	22.4	83.0
6/7～6/11	23.8	83.5	23.6	78.0	23.7	86.6	24.1	92.0	23.9	81.4
6/12～6/16	23.1	74.3	23.4	66.1	23.5	73.4	23.9	81.0	23.7	69.8
6/17～6/21	22.0	85.4	21.9	79.9	22.1	86.7	22.4	90.0	22.1	83.9
6/22～6/26	23.4	83.5	23.1	80.0	23.5	88.3	23.8	93.1	23.5	83.2
6/27～7/1	24.5	76.7	24.4	71.7	24.7	79.1	25.0	85.2	24.7	75.6

表(5)-19 各観測点の大気中MITC濃度

月日	6/2	6/3	6/4	6/5	6/6	6/7	6/8	6/9	6/10	6/11	6/12	6/13	6/14	6/15	6/16
天気	晴	曇	雨	雨	雨→曇	曇	曇	晴	曇	曇	晴	晴	晴	晴	曇
観測点 番号	①	②	③	④	⑤	①	②	③	④	⑤	①	②	③	④	⑤
	0	< 0.2	0	< 0.2	0	0	0	< 0.2	< 0.2	0	< 0.2	< 0.2	< 0.2	0	0.3
	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	0.3	< 0.2	< 0.2	0.3	< 0.2	< 0.2	< 0.2	0	0.2
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.1	1.5	0.3	-	0.3

月日	6/17	6/18	6/19	6/20	6/21	6/22	6/23	6/24	6/25	6/26	6/27	6/28	6/29	6/30	7/1
天気	曇→雨	雨	晴	晴	曇→雨	雨	晴	晴→曇	晴	曇	曇	晴	晴	晴	晴
観測点 番号	①	②	③	④	⑤	①	②	③	④	⑤	①	②	③	④	⑤
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	< 0.2	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	< 0.2	0.2	0	0.2	0.3	< 0.2	< 0.2	0	< 0.2	< 0.2	< 0.2	0	< 0.2	0
	0	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	0	0	0
	0.4	0.2	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8	0.4	0.4	0

単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 定量下限値: $0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$

-: データなし(電源オフやロータリー設定ミスによる)

n=1

(6)-2 H27年度調査 (4月21日～6月30日)

モニタリング期間中の平均の気温と湿度は、4月:20.5℃、55.6%、5月:22.2℃、65.2%、6月:23.3℃、76.8%であった。また、最寄りのアメダス観測点(南国日章)の気象データでは、この時期の主風向は、昼間が南、夜間は北が多かった(データ略)。設置点1～3番および5番では定量下限値以下か、非検出であった。設置点4番では5月13～6月13日にかけて最大1.6 μg/m³を検出した。設置点4番から約14m離れた施設において5月13日と6月4日にダゾメット微粒剤を処理しており、この施設由来のMITCを検出したものと考えた(表(5)-20)。以上より、調査期間における地域レベルでの大気中MITC濃度は1.6 μg/m³以下であり、定量下限値以上の濃度を検出した期間も限定的であった。今回のモニタリングでは、US EPAの設定する評価値と比較して1/10以下と低く、施設ニラの土壌くん蒸処理盛期において、カーバムナトリウム塩液剤やダゾメット微粒剤を処理した圃場からの周辺環境への放出影響が軽微であることが分かった。

表(5)-20 各設置点の大気中MITC濃度

月日	4/21	4/22	4/23	4/24	4/25	4/26	4/27	4/28	4/29	4/30	5/1	5/2	5/3	5/4	5/5	5/6	5/7	5/8	5/9	5/10	5/11	5/12	5/13	5/14
曜日	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木
天気	晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴	曇	雨	曇	晴	曇	雨	晴	晴	晴	曇	晴	雨	晴	晴	曇	雨	晴
設	1	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
置	2	nd	nd	nd	nd	< 0.2	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
点	3	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	4	< 0.2	< 0.2	< 0.2	nd	< 0.2	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	< 0.2	nd	nd	< 0.2	< 0.2	nd	nd	1.6	1.6
	5	< 0.2	< 0.2	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

月日	5/15	5/16	5/17	5/18	5/19	5/20	5/21	5/22	5/23	5/24	5/25	5/26	5/27	5/28	5/29	5/30	5/31	6/1	6/2	6/3	6/4	6/5	6/6	6/7
曜日	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日
天気	晴	曇	曇	雨	晴	曇	晴	晴	曇	雨	曇	晴	晴	晴	曇	晴	晴	雨	曇	雨	曇	晴	雨	晴
設	1	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	< 0.2	< 0.2	< 0.2	nd	< 0.2	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
置	2	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
点	3	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	4	0.2	1.1	0.3	nd	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	nd	< 0.2	nd	< 0.2	nd	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
	5	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-	-	nd	nd

月日	6/8	6/9	6/10	6/11	6/12	6/13	6/14	6/15	6/16	6/17	6/18	6/19	6/20	6/21	6/22	6/23	6/24	6/25	6/26	6/27	6/28	6/29	6/30
曜日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火
天気	雨	曇	曇	晴	雨	晴	晴	曇	曇	雨	曇	曇	曇	曇	曇	曇	曇	曇	曇	曇	曇	曇	曇
設	1	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	< 0.2	nd	nd	< 0.2	< 0.2	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
置	2	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
点	3	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	4	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	5	-	-	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-	-	-	-	-	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	-

単位: μg/m³
 定量下限値: 0.2 μg/m³
 nd: 非検出、-: 電源オフやロータリー設定ミスによる
 n=1

(7) カーバムナトリウム塩液剤およびダゾメット剤由来MITCの各温度別フィルム下大気と土壌中濃度の推移調査 (室内試験)

(7)-1 大気中濃度測定

カーバムナトリウム塩液剤と慣行フィルム使用時の24、72、168、240時間において、温度が上がるほど、非検出になる時間が早くなった(25℃:240時間、35℃:72時間、表(5)-21)。これは、温度が上がるほどガス化が速やかに進行し、MITCの発生が終息に向かう時間が早まったためと考えた。また、各温度条件における最大値は温度が上がると低くなる傾向が見られたが、これは各モニタリング時にはすでにMITCの発生が終息に向かっていた点と、温度の上昇に伴いガスのフィルム透過性も高まったためと考えた。ガスバリアー性フィルム使用時において、慣行フィルムよりも各時間における濃度は高く推移した(表(5)-21)。温度が上がると最大値も高くなり、非検出になる時間も慣行フィルムと同様に早くなった。

ダゾメット微粒剤と慣行フィルム、ガスバリアー性フィルム使用時の24、72、168、240時間において、カーバムナトリウム塩液剤のガスバリアー性フィルム使用時と同様の傾向が見られた(表(5)-22)。

以上の点よりMITCの発生は温度の影響を強く受けることが分かった。

表(5)-21 フィルム内側気中 MITC 濃度の推移
(カーバムナトリウム塩液剤由来)

資 材	温 度	処 理 後 経 過 時 間 (h)			
		24	72	168	240
慣 行	15℃	616.6	323.5	84.5	43.9
	25℃	587.0	168.9	8.8	nd
	35℃	434.1	nd	nd	nd
ガスバリアー	15℃	1105.8	932.2	699.0	433.0
	25℃	1482.8	889.6	486.6	248.5
	35℃	1850.6	823.2	< 25	nd

単位：mg/m³
 定量下限値：25mg/m³
 nd：非検出
 n=2

表(5)-22 フィルム内側気中 MITC 濃度の推移
(ダゾメット微粒剤由来)

資 材	温 度	処 理 後 経 過 時 間 (h)			
		24	72	168	240
慣 行	15℃	401.0	400.7	151	64.3
	25℃	745.2	222.7	32.4	nd
	35℃	776.3	28.1	nd	nd
ガスバリアー	15℃	951.5	1359.4	1010.2	852.3
	25℃	1926.1	1556.1	863.6	499.0
	35℃	2811.4	1187.2	418.4	nd

単位：μg/m³
 定量下限値：25mg/m³
 nd：非検出
 n=2

(7) -2 土壌残留濃度測定

カーバムナトリウム塩液剤と慣行フィルム使用時の24、72、168、240時間において、温度が高くなるとMITCの土壌残留濃度は速やかに減衰したが、3ppm未満になると緩やかになった。ガスバリアー性フィルム使用時において、各時間の残留濃度は慣行フィルム使用時よりも高く、減衰も緩やかであった(表(5)-23)。この要因として(5)-3-1の結果より、ガスバリアー性フィルムを使用するとフィルム内気中と土壌気相の濃度勾配が小さくなり、MITCの移動が慣行フィルム使用時よりも緩やかになったためと考えた。

ダゾメット微粒剤においても、カーバムナトリウム塩液剤の時と同様の傾向が見られた(表(5)-24)。

以上の点よりカーバムナトリウム塩液剤と同様にダゾメット微粒剤由来のMITCの土壌残留濃度の減衰には、温度の影響を強く受けることを確認した。

表(5)-23 ガラス瓶内土壌中 MITC 濃度の推移
(カーバムナトリウム塩液剤由来)

資 材	温 度	処 理 後 経 過 時 間 (h)			
		24	72	168	240
慣 行	15℃	66.5	38.7	16.9	14.2
	25℃	32.1	17.1	3.4	2.8
	35℃	17.4	2.7	1.4	1.3
ガスバリアー	15℃	87.0	75.9	59.4	53.2
	25℃	50.2	42.2	23.7	14.8
	35℃	41.9	26.8	3.9	2.7

単位：ppm(μg/g乾土)
 定量下限値：0.01ppm
 n=2

表(5)-24 ガラス瓶内土壌中 MITC 濃度の推移
(ダゾメット微粒剤由来)

資 材	温 度	処 理 後 経 過 時 間 (h)			
		24	72	168	240
慣 行	15℃	79.8	38.5	25.4	14.8
	25℃	77.4	29.5	8.3	2.2
	35℃	37.2	6.2	1.7	1.3
ガスバリアー	15℃	96.8	79.2	81.3	70.2
	25℃	103.1	83.8	53.5	34.8
	35℃	68.3	36.8	8.7	2.3

単位：ppm(μg/g乾土)
 定量下限値：0.01ppm
 n=2

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

これまで土壌くん蒸剤の大気への移行フラックスの測定法など経済的にも労力的にも非常に負担が大きかったが、大気経路暴露濃度シミュレーションモデルDiMCFDとCALPUFFを構築することでそれらを緩和する方法ができた。また、科学的知見に基づいて、土壌くん蒸剤の処理量の把握や濃度管理が可能となった。MITCの簡易分析によりポリエチレンフィルムを被覆した生産現場で処理された土壌くん蒸剤より発生する農薬成分の漏洩量とガスバリアー性フィルム使用による大気中漏洩量低減効果を具体的な数値で把握することができた。その他、土壌くん蒸剤別の処理後経過時間とガスの放出濃度の傾向や、数km²規模における大気環境中の濃度を把握することができた。

2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

特に記載すべき事項はない。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況 (※別添.報告書作成要領参照)

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) 野村 誠、市原 勝、小原裕三：高知県農業技術センター研究報告第25号(2016)
“大気中メチルイソチオシアネートの簡易分析法の検討“

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表(査読なし)>

特に記載すべき事項はない。

(2) 口頭発表(学会等)

- 1) 野村誠、市原勝：第36回農薬残留分析研究会(2013)
「土壌および大気中のMITC捕集法の検討」
- 2) 野村誠、市原勝、小原裕三：第37回農薬残留分析研究(2014)
「大気中MITCの捕集法の検討(第2報)」
- 3) 野村誠、市原勝、小原裕三：第32回農薬環境科学研究会(2014)

「ガスバリアー性被覆フィルムによる土壌くん蒸剤MITCの環境負荷低減効果の検討」

- 4) 野村誠、市原勝、小原裕三：日本農薬学会第39回大会（2014）
「土壌くん蒸圃場周辺でのMITC暴露濃度評価法の検討（1）-捕集、前処理方法の最適化-」
- 5) 市原勝、野村誠、小原裕三：日本農薬学会第39回大会（2014）
「土壌くん蒸圃場周辺でのMITC暴露濃度評価法の検討（2）-現地調査に向けた予備調査-」
- 6) 市原勝、野村誠、小原裕三：第33回農薬環境科学研究会・第38回農薬残留分析研究会合同シンポジウム（2015）
「ガスバリアー性能の異なる被覆フィルムを適用したダゾメット剤処理圃場周辺環境中でのMITCモニタリング」
- 7) 野村誠、市原勝、小原裕三：第35回農薬製剤・施用法シンポジウム（2015）
「ガスバリアー性フィルムによるMITCの放出抑制効果の検討-製剤型・施用法の違いによる被覆フィルム直下気相中濃度の差-」
- 8) 野村 誠、市原 勝、小原裕三：日本農薬学会第41回大会（2016）
「室内試験による土壌くん蒸剤（カーバムナトリウム塩・ダゾメット）処理時のガスバリアー性フィルム直下気中MITC濃度減衰期(DT₅₀、DT₉₀)の簡易推定」

（3）出願特許

特に記載すべき事項はない。

（4）「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 第24回高知県農業振興フェア（主催：環境農業課、2015年10月10日、農業技術センター、農家・消費者40名）
「ガスバリアー性フィルムによる土壌くん蒸剤のリスク削減技術」
- 2) 赤岡青果市場講習会（主催：赤岡青果市場、2015年11月17日、赤岡青果市場、ニラ生産主97名）
「ガスバリアー性フィルムによる土壌くん蒸剤のリスク削減技術 高知県でのモニタリング事例」
- 3) 普及指導員専門研修（病虫害）（主催：環境農業課、2015年12月14日、農業技術センター、普及指導員、JA営農指導員等41名）
「ガスバリアー性フィルムによる土壌くん蒸剤の放出抑制」
- 4) 野村 誠、市原 勝：ショウガの土壌病害に関する講習会（2016）
「ガスバリアー性フィルムによる土壌くん蒸剤の放出抑制」

（5）マスコミ等への公表・報道等

- 1) 日本農業新聞（2015年4月22日、高知版、『役立つ営農情報』土壌薫蒸剤放出抑制技術
- 2) 日本農業新聞（2016年4月27日、高知版、『役立つ営農情報』バリアフィルムの実力

（6）その他

- 1) 第36回農薬残留分析研究会 ポスター発表優秀賞
- 2) 第32回農薬環境科学研究会 ベストポスター賞

8. 引用文献

特に記載すべき事項はない。

5-1303 日本型農業環境条件における土壌くん蒸剤のリスク削減と管理技術の開発

(6) シミュレーション手法を用いた土壌くん蒸剤の大気中における動態把握とリスク削減技術の適用評価に関する研究

株式会社数理計画

数理計画本部	小泉 正明
数理計画本部	塩見 崇史
数理計画本部	吉田 文彦
数理計画本部	藤原 禅
数理計画本部	尾形 和彦

平成25～27年度累計予算額：11,422千円（うち平成27年度：3,549千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

土壌くん蒸剤処理圃場に隣接する住民及び園芸地域全体の住民のそれぞれを対象とした時間・空間スケールが異なる2つのモデルを用いて、大気中の動態を把握するシミュレーションを行い、評価することで、大気経由の曝露低減に資する項目の有効性等について整理した。また、シミュレーション結果を可視化することで、土壌くん蒸剤の大気中における動態が「見える化」され、低減効果等の把握の一助となった。

[キーワード]

大気中動態把握、シミュレーション、DiMCFD、CALPUFF

1. はじめに

土壌くん蒸剤は、地域によって様々な種類が使用されているが、いずれも揮発性が高いため、大気中に漏えいしている。特に、住宅地と圃場が混在している日本国内では、漏えいした土壌くん蒸剤が大気経由で周囲に拡散することで、近隣住民への危被害等の問題が生じており、その対策が喫緊に求められている。

それにも関わらず、モニタリング等が（時間的にも空間的にも）細かく実施された事例が少なく、大気中の動態が把握できていない。

また、リスク削減のための施策を検討する必要もあるが、モニタリングだけでは、多くのケースを検討することが難しく（施策効果を確認するためには施策前後のケースの検討が必要）、効果評価を行うことが困難である。

そこで、こうした検討に、シミュレーションの技術を導入することで、土壌くん蒸剤の大気中の動態を把握する必要が生じた。

2. 研究開発目的

本サブテーマでは、土壌くん蒸剤処理圃場に隣接する住民及び園芸地域全体の住民の2つを主なターゲットとし、時間・空間スケールが異なる2つのモデルにより、大気中の動態を把握するシミュレーションを行い、評価することで、「日本型のリスク削減・管理策」の提案に資することを目的とする。

3. 研究開発方法

土壌くん蒸剤処理に伴う大気中の動態を把握するために、時間・空間スケールが異なる2つのモデルを選定した。1つは、土壌くん蒸剤処理圃場に隣接する住民に対する評価を行うモデルとして、短時間（数分～1時間程度）かつ狭域（発生源から数百m程度まで）を対象とするDiMCFD（Diffusion Model with Computational Fluid Dynamicsの略、数値流体力学を用いた大気拡散モデル）、もう1つは、園芸地域全体の住民に対する評価を行うモデルとして、長時間（数日から1年間程度）かつ広域（数百mから数百km）を扱うCALPUFFである。

次に、選定したそれぞれのモデルについて、土壌くん蒸剤処理に係る大気中の動態を把握可能にするため、必要な改良等を施し、モデルを構築した。

また、土壌くん蒸剤処理に伴う大気中の動態について、モデルが再現できているかを確認するため、モニタリングの再現シミュレーションを実施し、結果を比較した。なお、再現性の確認に用いるモニタリングは、サブテーマ（3）～（5）の各県の協力を得て、実施した。

さらに、再現性の確認を行った各モデルを用いて、サブテーマ（3）～（5）の典型的な園芸地域を対象に、ケーススタディシミュレーション（以下、「CS」という。）を行い、大気経由の曝露低減に資する項目の有効性等について整理した。

4. 結果及び考察

（1）DiMCFDに係る検討結果について

1) モデルの構築

土壌くん蒸剤処理圃場に隣接する住民に対する評価を行うために選定したDiMCFDは、近年、複雑な構造物のある市街地における自動車排出ガスの拡散をはじめとして様々な現象に適用されており、複雑な風の流れや濃度分布等の解析、対策効果等の評価に用いられている。

このように、DiMCFDは様々な分野に適用されているが、土壌くん蒸剤の大気中の動態把握には適用されたことがなかったため、発生源の与え方などについて、改良を加え、土壌くん蒸剤の大気中の動態把握が可能となるモデルを構築した。

2) モデルの再現性の確認

a モニタリングの実施

モデルの再現性の確認を行うために必要となる大気中濃度データ等について、サブテーマ（3）～（5）に依頼し、モニタリングを実施した。モニタリングにあたっては、モデルの再現性の確認が効果的に実施できるように、各モニタリングの実施時期における過去の気象条件（主に風向・風速）などを参考に、測定地点の配置・設置について検討を行い、モニタリング計画策定の補助を行った。

b 再現性確認のためのシミュレーションの仕様

再現性確認のためのシミュレーションは、土壌くん蒸剤の処理が行われる（モニタリング機器を設置した付近）圃場を中心に、約400～500m四方の領域を対象とした。

シミュレーションを行うためには、計算領域に含まれる現地の各種構造物や地形を、モデル化（シミュレーションで扱えるようにすること）する必要があるが、国土地理院の基盤地図（<http://fgd.gsi.go.jp/download/>）などを基に、各種地図情報や現地調査の結果を踏まえ、適宜補正して、可能な限り現実に近い状況を再現できるように努めた。

気流場（風の流れやガスの拡散のしやすさ等）や濃度場の計算については、通常用いる方法（大気環境学会・関東支部・予測計画評価部会「CFDモデル環境アセスメント適用性研究会」の推奨する方法^{1）、2)}に準拠）で実施した。

以下の2つの方法をもとに1時間値を推計し、例えば、サンプリング時間が4時間の場合、計算では1時間値を4つ推計し、それらの算術平均をとり、測定値と比較した。

【計算値01】

気流場を風向・風速の1時間値（正時10分前の平均値）を与えて計算し、その気流場に乘せてガスの拡散をシミュレーションし、濃度の1時間値とする。

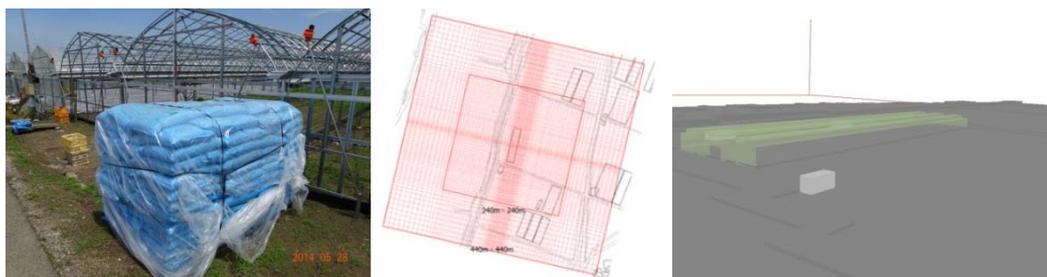
【計算値02】

気流場を風向・風速の10分値（ただし、風向・風速以外の条件は1時間内で同じ）を与えて計算し、それぞれの気流場に乘せてガスの拡散をシミュレーションし、6個の濃度場を平均することで、濃度の1時間値とする。

c 再現性確認のためのシミュレーションの結果

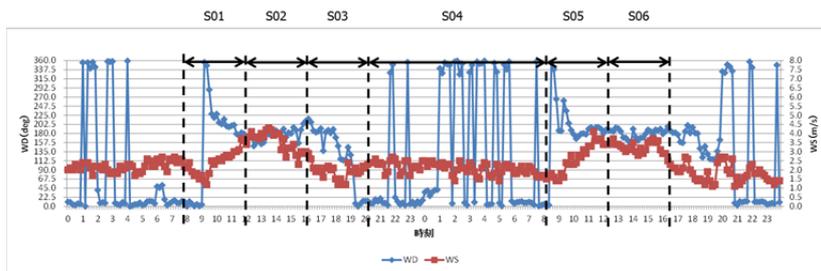
結果の一例として、サブテーマ（5）高知県で実施されたモニタリングとの比較例を示す。

計算領域は処理圃場（ハウス）の中央を中心とする440m四方の領域（図(6)-1）である。

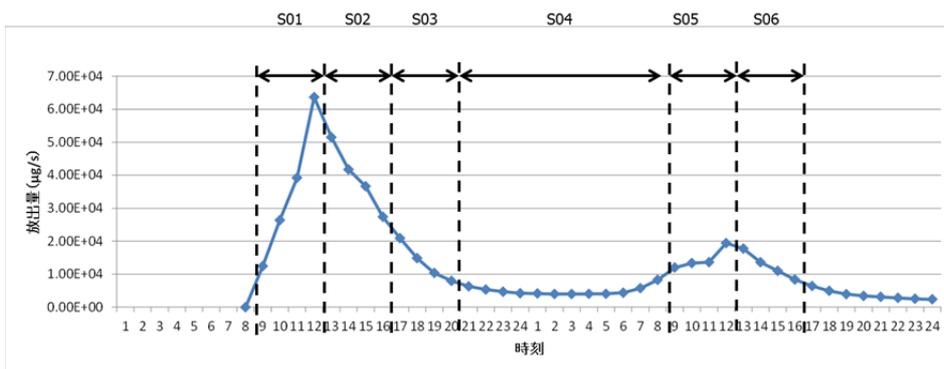


図(6)-1 モニタリング概況（左）、計算領域（中）、モデル化例（右）

シミュレーションは、S01～S06（図(6)-2）まで行った。気流計算に用いる風向・風速を図(6)-2に、濃度計算に用いる放出量を図(6)-3に、それぞれ示す。この期間中、風は例年の傾向とほぼ同様で、日中は南よりの風、それ以外は北よりの風であった。

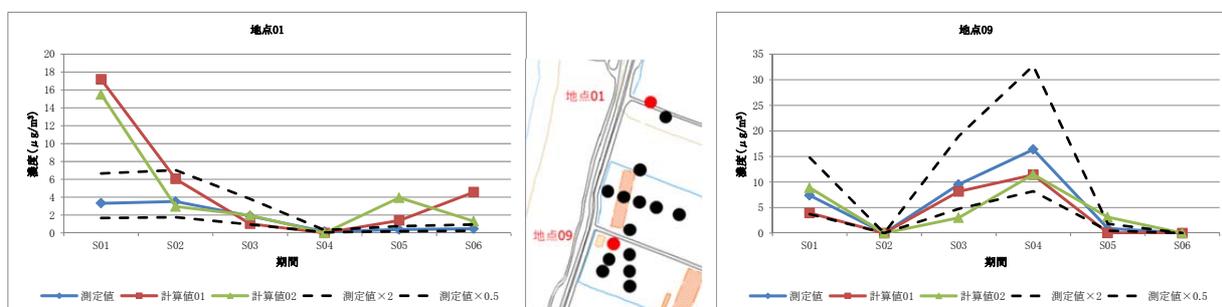


図(6)-2 モニタリング期間の風向・風速

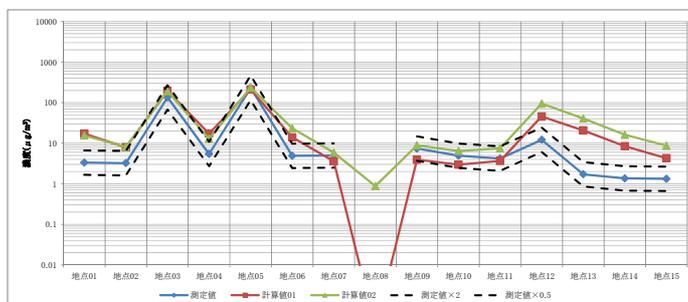


図(6)-3 シミュレーションに用いた放出量

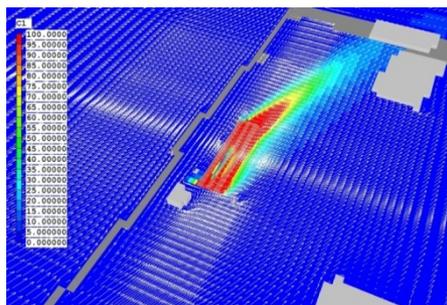
以上のような条件下でシミュレーションを行い、モニタリング結果と比較したところ、以下の図(6)-4及び図(6)-5に示すようになった。また、風向が南西(S01期間中)の場合の濃度分布を、図(6)-6に示す。



図(6)-4 地上1.2mにおけるモニタリングとの比較 (左: 地点1、中: 測定地点概況、右: 地点9)



図(6)-5 測定地点間の比較 (S01、地上1.2m)



図(6)-6 濃度分布例

計算値は、やや過大傾向（図(6)-5）だが、おおむねモニタリング結果を再現できた。これは、処理圃場にハウスがあり、発生源付近の移流・拡散性状が良好に再現できたためと考えられる。

d 再現性確認結果のまとめ

再現性確認のためのシミュレーションの結果をとりまとめると、以下のようになった。

- 計算値は測定値よりも全体的に過大傾向（モデルが抱える課題、フラックス推計に係る課題等）であった。
- 測定地点間の濃度差は、概ね良好に再現できた。
- 1時間値の算出方法として2種類を試したが、風向の変動を加味している計算値02の再現性が幾分よいと考えられるが、ケースバイケースである。

以上から、DiMCFDにも、フラックスの推計にも、様々な課題や不確実性が含まれるため、現時点では、計算値と測定値や各物質の基準値等を絶対値で比較するのは困難と考えられる。

ただし、測定地点間の濃度差を見ると、概ね良好に再現できている（図(6)-5）ことから、地点による相対的な濃度差や、各種条件の違いによる感度解析には利用できると考えられる。

3) CSの実施

a 土壌くん蒸剤の曝露低減効果に係る要因の整理（DiMCFD）

CSを実施するにあたって、土壌くん蒸剤の曝露低減効果に係る要因例を整理し、サブテーマ（3）～（5）にCSで検討したい項目等について問い合わせを行い、計算対象となる要因を絞り込んだ。

b CSの仕様等

CSは、各県を代表する農作物を栽培する地域で、典型的な園芸地域と考えられる地域を選定し、その中から「日本型農業環境条件」、すなわち圃場と住宅が混在する範囲（モデルの特性からおおよそ400～500m四方程度、どちらかというところ「住宅群の中に圃場がある」というイメージ）を対象とした。

シミュレーションを行うためには、計算領域に含まれる現地の各種構造物や地形を、モデル化（シミュレーションで扱えるようにすること）する必要があるが、国土地理院の基盤地図（<http://fgd.gsi.go.jp/download/>）などを基に、各種地図情報を踏まえ、適宜補正した。

気流場（風の流れやガスの拡散のしやすさ等）や濃度場の計算については、通常用いる方法（大気環境学会・関東支部・予測計画評価部会「CFDモデル環境アセスメント適用性研究会」の推奨する方法^{1）、2）}に準拠）で実施した。

本研究のCSでは、地上1.2mにおける対象地域・対象時期の代表的な8時間値の再現を試みた。

c CSの結果

結果の一例として、サブテーマ（4）徳島県を対象としたCSについて提示した。

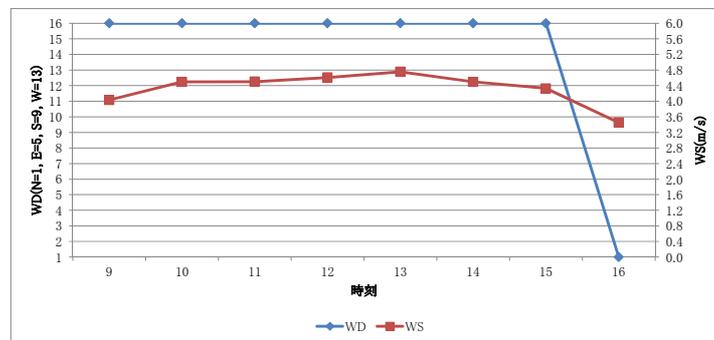
ここでは、表(6)-1に示すメニュー・ケースについて、CSを実施し、検討を行った結果を示す。なお、対象とするガスはCPである。

表(6)-1 DiMCFDを用いたCSのメニュー・ケース（徳島県）

No.	メニュー	ケース	フィルム	処理圃場	その他
1-1	被覆資材の比較	ポリフィルム(通常)	0.02mmの黒色ポリエチレン	中央圃場のみ	
1-2		バリア性フィルム	0.02mmの黒色ハイバリアー	中央圃場のみ	
2-1	被覆資材の配置	全面ポリ	0.02mmの黒色ポリエチレン	領域内の圃場全て	
2-2		一部バリア性フィルム導入	0.02mmの黒色ポリエチレン 0.02mmの黒色ハイバリアー	領域内の圃場全て 住宅近傍のフィルムを変更	

対象時刻は、8時～16時までの8時間とする。

計算に用いる各時刻の最多風向と最多風向時の平均風速について、周辺の常時監視測定局等のデータを解析したところ、図(6)-7に示すようになった。また、その他、計算に用いた数値は、表(6)-2に示すとおりである。

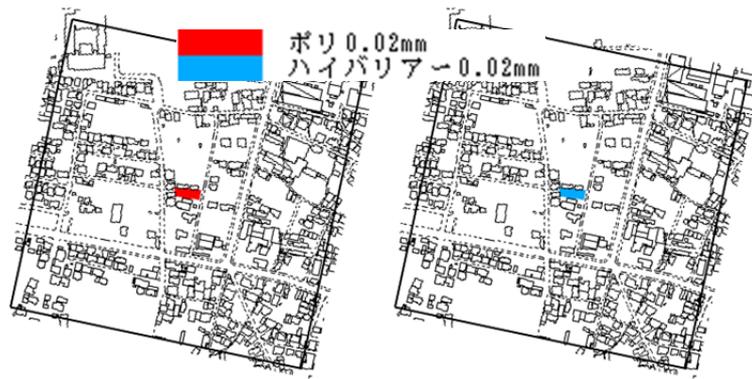


図(6)-7 対象時刻における風向・風速

表(6)-2 計算に用いるデータ

項目	単位	値
気温	℃	9.7
湿度	%	62
フラックス(ポリ0.02mm)	g/h/m ²	0.514
フラックス(ハイバリアー0.02mm)	g/h/m ²	0.004

領域中央の圃場を着目する処理圃場（図(6)-8）とし、被覆資材を変更した場合について、検討を行った。表(6)-3の通り、ガスバリア性フィルムの効果が確認できた。



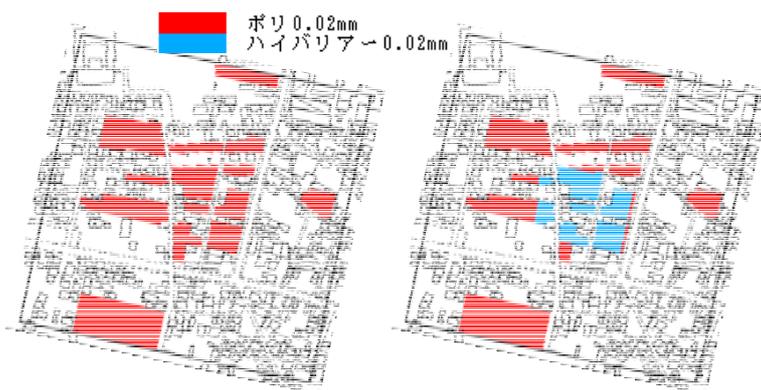
図(6)-8 被覆資材の変更 (左：ポリ、右：ガスバリア)

表(6)-3 ケース間の比較 (ケース1-1～ケース1-2)

距離	変化率
発生源上	0.009
0m～10m	0.009
10m～20m	0.009
20m～30m	0.009
30m～40m	0.009
40m～50m	0.009

※変化率：ケース1-2の地上1.2mの8時間値/ケース1-1の地上1.2mの8時間値

ケース2-1～ケース2-2として、圃場と住宅が混在する地域において、住宅近くの一部の処理圃場にガスバリア性フィルムを導入した場合を検討した(ケース2-2)。今回は、議論を単純化するため、中央圃場の端から50m程度の範囲にある領域について、ガスバリア性フィルムを導入すると仮定した(図(6)-9)。



図(6)-9 被覆資材の配置 (左：ケース2-1、右：ケース2-2)

ガスバリア性フィルム(ハイバリアー)を一部導入することで、導入した圃場周辺で濃度が低減していることが分かる(表(6)-4)。また、中央圃場を取り囲む住宅群(表(6)-4の0m～10mに相当)では、ポリの場合と比べて1/5程度になっていることが分かる。

表(6)-4 ケース間の比較 (ケース2-1～ケース2-2)

距離	変化率
発生源上	0.113
0m～10m	0.177
10m～20m	0.206
20m～30m	0.195
30m～40m	0.271
40m～50m	0.356

※変化率：ケース2-2/ケース2-1

※表中の「発生源上」は中央圃場のこと、「0m～10m」等の距離は中央圃場端からの距離を表す。

d CSの結果のまとめ

DiMCFDを用いてCSを実施し、処理圃場周辺の地上1.2mにおける8時間値相当の濃度やその変化について検討した。その結果に基づき、大気経由のリスク削減効果について有効性を評価した。

- 被覆資材の比較
 - CS では、着目した処理圃場について、ポリフィルムからガスバリア性フィルムに変更した場合を検討した。
 - ガスバリア性フィルムの効果で、大気への放出量が減り、周辺濃度の低減が見込まれた。
- 被覆資材の配置
 - CS では、処理圃場の一部（住宅隣接部や、評価対象となる住宅群から一定の範囲内）をポリフィルムからガスバリア性フィルムに変更した場合を検討した。
 - いずれにおいても、濃度の低減が期待できる。また、用いるフィルムによっては、ガスバリア性フィルムに変更した部分を処理しなかった（緩衝帯を設けるイメージ）場合と同等のレベルにまで低減できる。
- ハウス構造の比較
 - ハウス内では、一般に、密閉して処理を行うことになっている。しかし、密閉して処理を行うことで、時期によってはハウス内が高温になり、ハウス資材が壊れる可能性があるため、ハウスの側面や屋根面を開けるケースが考えられる。そのため、本研究では、ハウスの側面・屋根面が開いたケースを取り上げた。
 - CS では、周辺へ最も影響がある可能性の高い側面・屋根面ともに開とした場合に対して、いずれかを閉とした場合を比較検討した。
 - ハウス周辺の動態は、ハウス自体の影響により、高濃度領域が処理圃場近傍にとどまる。
 - ハウスの側面、屋根面の開閉によって、濃度分布が異なる。
 - 屋根面を閉じた場合、側面からの流出となるため、ハウス内及びハウス近傍（CS では 0m～10m）の地上濃度が増加した。
 - 側面を閉じた場合、屋根面からの流出となる（すなわち高いところから放出されることに同義）ため、ハウス内及びハウスから少し離れたところ（CS では 10m～30m 程度が顕著）で濃度が増加し、ハウス近傍（CS では 0m～10m）では濃度が減少した。

4) 土壌くん蒸剤処理圃場隣接住民に対するリスク削減手法の提案

土壌くん蒸剤処理圃場隣接住民に対するリスク削減のために、以下のような提案を行う。

- 露地栽培
 - ガスバリア性フィルムの導入は、大気中濃度の低減に、非常に有効である。
 - 導入には費用がかかるため、他のサブテーマの研究成果なども参考に、処理量低減、薬効や収量などを踏まえて、費用対効果を把握する必要がある。
 - 全ての圃場への導入が難しい場合は、「一部のみ」、「中心から〇m以内のみ」など地域の実情（またはリスク削減したい地点の状況等）にあわせて導入することが望ましい。
- 施設栽培
 - ハウスの開閉について、大気経路のリスク削減という観点からは、可能な限り密閉することが望ましい。
 - 密閉せず、どこかを開放（側面のみ、屋根面のみ、側面・屋根面両方）した場合、開放の仕方によって濃度分布が異なることに注意が必要である。ただし、密閉した場合と比較すると、絶対値はともかく、ハウス内からガスが放出されるため、ガスバリア性フィルムの導入と併用することが望ましい場合もある。
- リスク削減手法検討のためのシミュレーションの活用
 - ガスバリア性フィルムの導入やハウス構造の変化等については、その都度モニタリングを実施し、変化を確認することは現実的でない。
 - DiMCFD を用いたシミュレーションは、そうした状況の変化を再現することができ、ガスバリア性フィルムの最適配置（効率的に評価対象範囲のリスクを削減するための配置）や、ハウス構造の変化（隣接住民に対するリスク削減のための開閉）等について検討が可能である。さらに、変化前後の濃度分布を可視化することで、より理解が深まることが期待される
 - DiMCFD を用いたシミュレーションの活用により、土壌くん蒸剤処理圃場隣接住民に対するより効果的なリスク削減技術の提案ができる可能性がある。
 - なお、「日本型農業環境条件」、すなわち圃場と住宅が混在する範囲において、DiMCFD を用いたシミュレーションを実施する場合、主な評価対象範囲から離れた後背地にも処理圃場がある可能性が高い。そのため、後背地の構造物等の状況も簡略化せず、可能な限り現実の状況を再現することが望ましい。

（２）CALPUFFに係る検討結果について

1) 地域スケールの土壌くん蒸剤の大気中における動態把握のためのモデル

土壌くん蒸処理を行う圃場が展開する栽培地域全体における土壌くん蒸剤の大気中における動態を把握するために米国環境保護庁（以下では、EPAと呼ぶ）が大気汚染物質の影響を推定するために開発したCALPUFFモデル（以下では、単にCALPUFFとする）を用いた。CALPUFFは、非定常型のパフモデルであり、時間・空間的に変化する気象条件下での汚染物質の輸送、変質、除去（transport、transformation and removal）をシミュレートすることができる。EPAの推奨としては複雑地形における長距離に適用することとしており、距離のオーダーとしては、10kmスケールから100kmスケールをカバーしている。このモデルを利用する理由は以下のとおりである。

- ・EPAが土壌くん蒸剤の処理に係るBuffer Zone設定に用いているPERFUMモデルは、EPAの推奨モデル（ISC：Industrial Source Complex）をベースとしている。ただし、定常型のプルームモデルであり、圃場近傍の予測には適しているが、地域スケールには向いていない。

- ・処理に伴う影響のスケールが日～週スケールであり、定常型プルームモデルでは扱いが困難である。

- ・地域スケールの検討を行うので、時間変化の条件を考慮することが重要であるが、CALPUFFは放出量等の時間変化を考慮できるので、評価時間が大きくなっても対応可能である。

- ・EPAが推奨しているモデルであり、モデルとして十分な評価が行われている。

計算にあたって、EPAの推奨する設定では、気象条件として米国の標準的な気象データから作成して使用することになっているので、日本の気象データを入力とする形式に変更する。土壌くん蒸剤の影響を踏まえると今回の対象とする地域スケールはEPAが推奨するスケールより小さいスケールであることから、気象場については一様場での設定とした。

計算に利用するCALPUFFについては、現在、EPAから管理を移管されているExponet社から提供されているCALPUFFのVer6.4を用いた。このバージョンでは、放出源周辺の建屋の考慮や乱流の取り扱いなど機能の追加、改良がおこなわれており、入力条件の変更が行われているが、ここではEPAの推奨バージョンと同等の計算が実施できるような入力条件の設定を用いている。

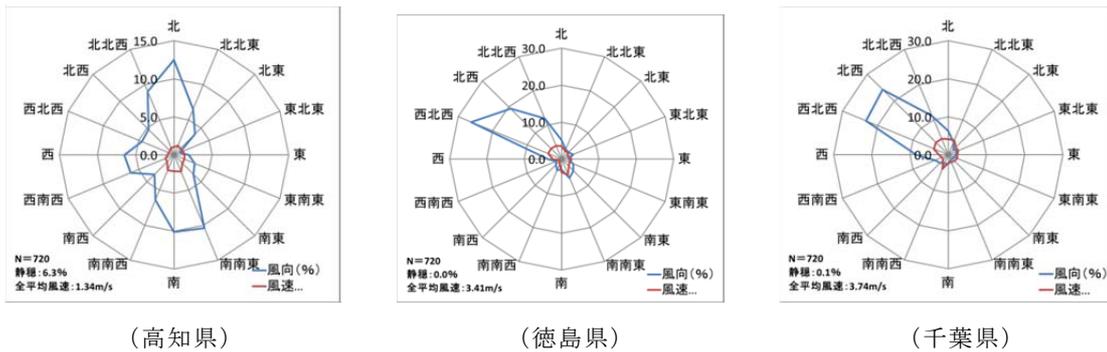
2) 栽培地域の気象条件による計算

今回の研究参加機関の対象とする3地域（高知県・徳島県・千葉県）について対象とする作物に対する土壌くん蒸処理が行われる代表的な期間からそれぞれ30日間を計算対象期間として、シミュレーションを行った。

各対象地域に共通する計算条件として、計算対象期間について、毎時の時間値を計算する。計算範囲は10km×10kmの正方形の領域として、その領域を100m×100mのメッシュに区分して、その中央点を計算点とする。メッシュ数は100メッシュ×100メッシュの10,000メッシュである。放出源は1g/secの放出量を4メッシュに分割して、対象領域の中央とする。放出強度の時間変化は考慮せず、毎時間、上記の排出量を放出しているものとした。風向、風速は対象地域の周辺で得られる実測値として、気象庁の測定による観測値を用いることとするが、拡散パラメータについては、日中（8～16時）はC、夜間（16～8時）はDとする。

a 計算対象期間

各対象地点の計算対象期間及び計算に利用した気象官署の期間中の風向頻度及び平均風速は図(6)-10に示す通りである。なお、風速計の高さは10mと設定している。

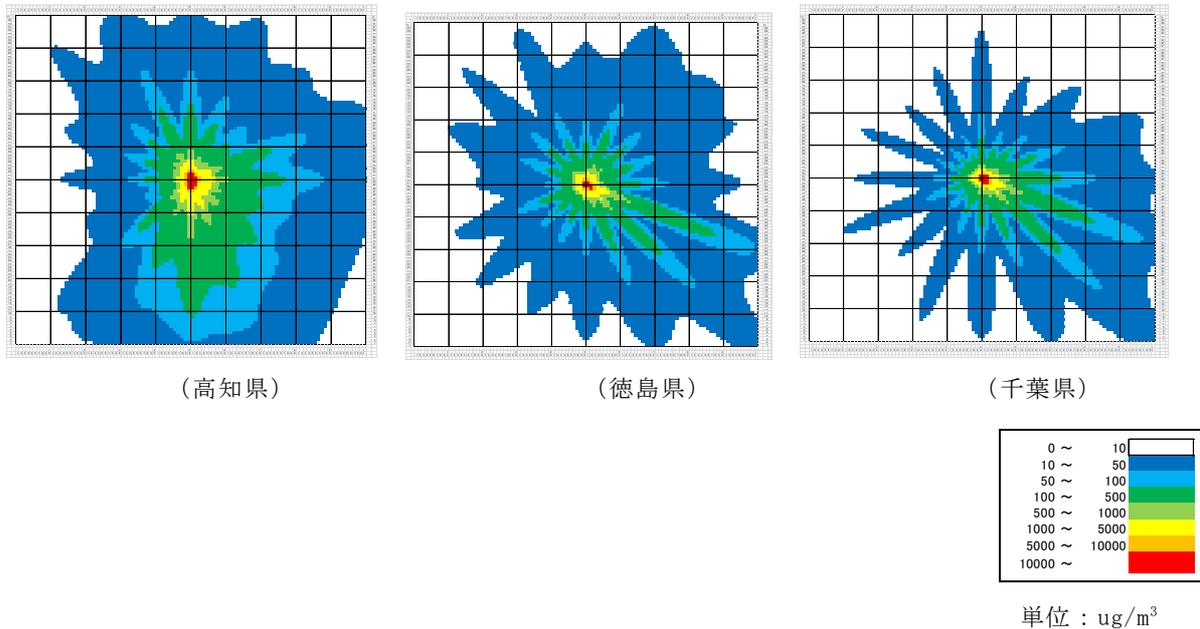


図(6)-10 対象地域の対象期間中の風向分布

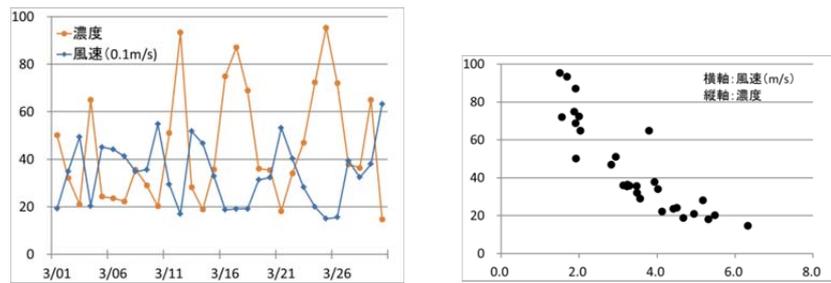
b 計算結果

各対象地点の対象期間中の平均濃度（月平均値）は図(6)-11に示す通りである。平均的に風速が小さく、また風向頻度の偏りが少ない高知の結果が比較的高濃度範囲が大きくなっている。また、計算に拡散の小さいDを用いているため、風向に直角な方向への拡散が小さくなり、風向軸に偏った「やつで状」の濃度分布を示している。また、風向頻度の大きい風下側の濃度が大きくなり、風向頻度が影響を考慮するうえで重要であることを示している。

また、日平均濃度と日平均風速の期間中の変化は図(6)-12に示す通りである。ここでの計算は拡散パラメータを昼夜別に固定しているため、平均風速と平均濃度に明らかな関係があり、風速が弱いほど濃度が大きくなっている。



図(6)-11 対象地域の対象期間中の濃度分布
 (計算対象期間中の全1時間値を算術平均、格子のサイズは1km)



図(6)-12 対象期間中の日平均濃度及び日平均風速の関係
(徳島県) 単位：ug/m3

3) 栽培状況を考慮した計算

今回の研究参加機関の対象とする3地域（高知県・徳島県・千葉県）について実施された現地調査期間を対象期間として、調査期間中のくん蒸処理の状況をモデル化して放出源の作成を行い、現地気象条件を用いてシミュレーションを実施し、必要に応じて、観測結果等との比較を行う。

表(6)-5 現地調査期間の状況を考慮したシミュレーションの概要

地域	期間:2015年	対象圃場及び薬剤成分	計算条件等
高知県	5/1~7/4	ニラのハウス栽培 MITC：1,307 g * 圃場面積：249,729 m ²	気象：アメダス 放出：処理時（経過後の特定日）のハウス開放時 処理状況は仮定
千葉県	1/1~3/30	スイカのトンネル栽培 クロルピクリン：4,161 g * 圃場面積：129,873 m ²	気象：アメダス 放出：処理後のシートからの放出、トンネルは無視 処理状況：把握
徳島県	3/5~5/2	サツマイモの露地栽培、 クロルピクリン：391,759 g ** 圃場面積：391,759 m **	気象：空港のデータ、処理状況：把握 放出：処理後のシートからの放出 処理状況：把握

注：* 対象圃場からの期間中の累積放出量の推定値

** 地域内の4区域で計算を実施、最も処理面積の多い地点4の値

a 対象地域の状況

i 高知県

平坦な市街地の中に栽培ハウスが点在していて、住居や店舗などと隣接している。計算対象範囲は図に示す東西2km、南北3.5km程度の範囲にある栽培ハウスで、国土地理院発行の1:25000数値地図において「普通無壁舎」として情報付与されている建物を地理情報システム（GIS）にて抽出

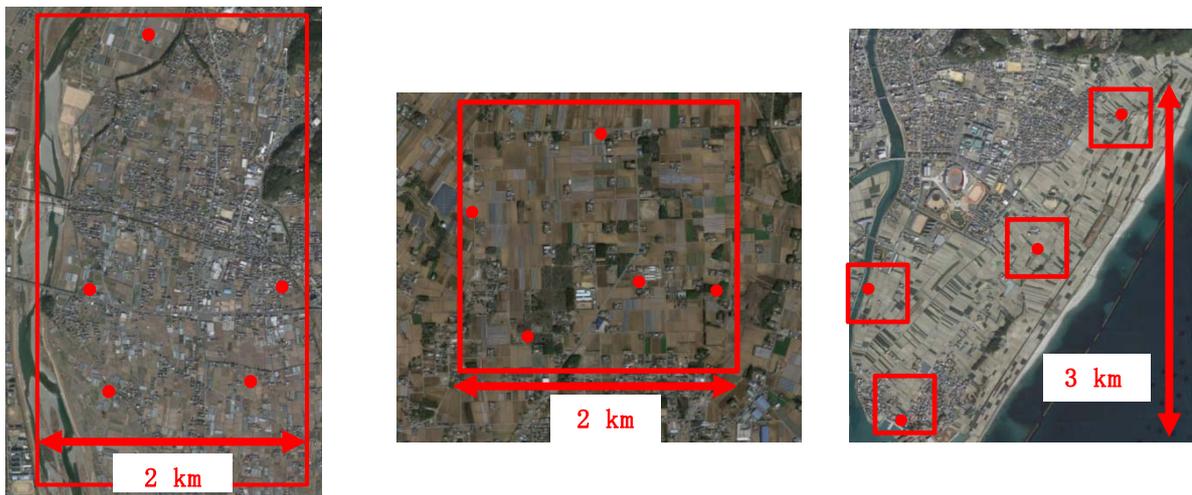
した後、Google映像でおおむねの確認をして、1a以上の面積を持つものを対象とした。面積は数値地図の建物面積をそのまま用いている。現地調査はこの地域内の5か所で行われているが、期間中の処理状況の把握は行っていない。

ii 千葉県

台地の頂部にあたる比較的平坦な地形上に栽培地域が広がっている。住居がまばらに点在しているが、住居の近隣でも栽培がおこなわれている。検討の対象とした露地栽培では、くん蒸処理後、トンネルが施されている。現地調査は東西南北の4か所とほぼ中央の1か所で行われており、観測期間中に処理された圃場が1週間程度の間隔で把握された。把握された圃場をGIS上で地図にプロットし、面積を計測した。

iii 徳島県

海岸沿いの平坦地に栽培地域が広がっている。いくつかの集落が存在しており、集落内にも圃場は存在する。くん蒸処理後、シートで被われる。現地調査は4か所で行われており、観測地点周辺の処理状況が3～4日おきに把握されている。把握された圃場群を中心に4地域でそれぞれ計算を行った。面積はGIS上で地図にプロットして計測した。



図(6)-13 対象地域

(左：高知県、中：千葉県、右：徳島県)

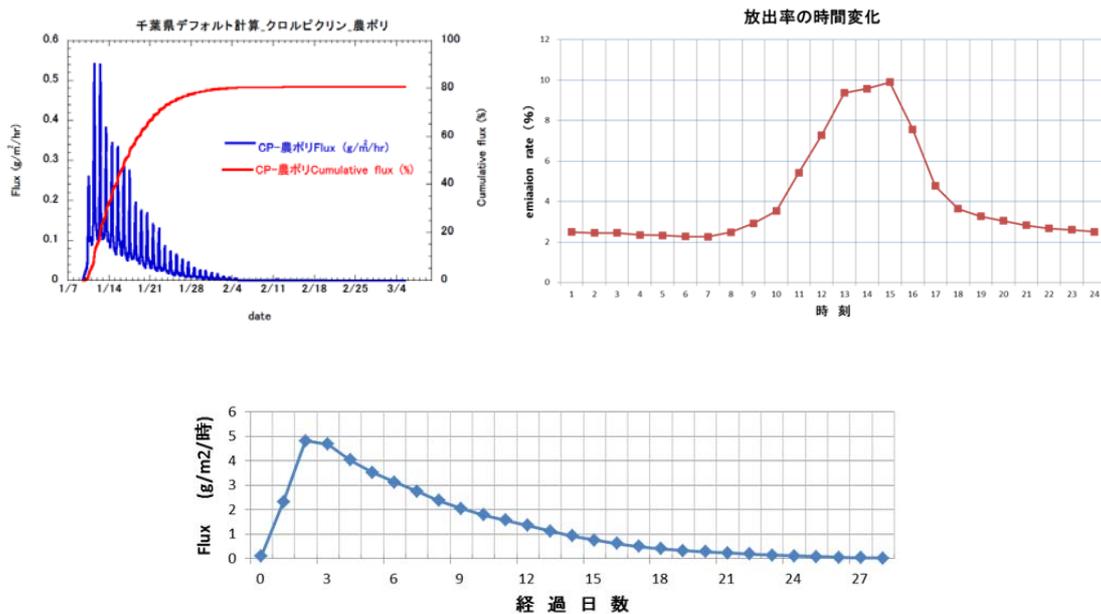
シミュレーションの対象範囲は図(6)-13で示した対象地域を含む5km×5kmの範囲とし、計算メッシュの大きさは50m×50mとして、その中点を計算点とした。

b 放出源の設定

くん蒸処理による放出フラックスは農業環境技術研究所による推定値を用いて、処理後の日変化及び日々変化をモデル化して用いた。なお、日変化のパターンは処理後の各日において同じパターンとし、各日の放出全フラックス量を1として、毎時の値に配分することとした。放出フラックスは各地域の圃場、処理剤、処理後の被覆資材及び処理時期の気象条件の特性に応じて推定されている。処理量は使用薬剤の通常の処理量としている。推定方法の詳細については、農業環境技術研究所の報告に示されている。

CSでは被覆資材は通常使用されている農業用ポリエチレンシート（以下では農ポリとする）とした。圃場からの放出量は毎時のフラックスに処理有効面積を乗じて設定した。ここで、処理有効面積とは畝間や作業用の通路分を考慮してGISで計測した面積の0.8と設定した。

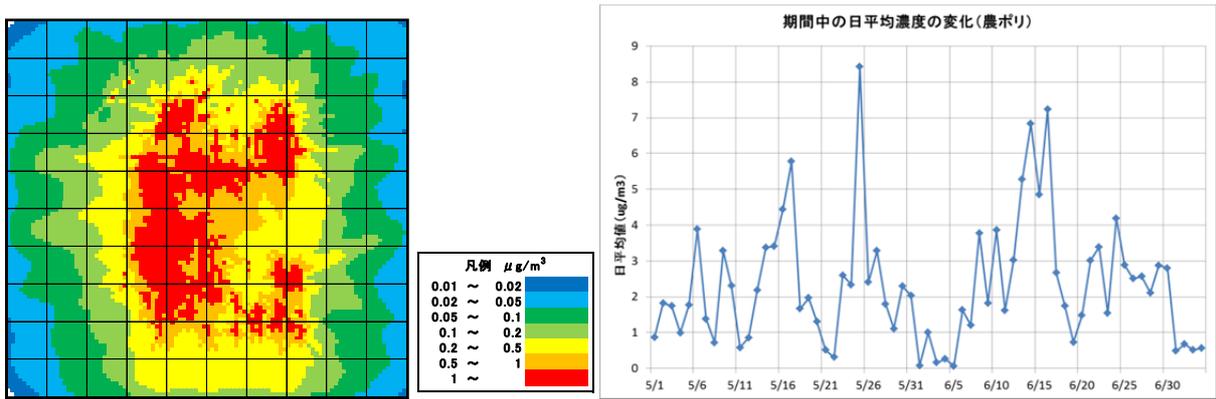
千葉県のシミュレーションに用いたフラックスの推定結果及び日変化、日々変化を、例として図(6)-14に示した。



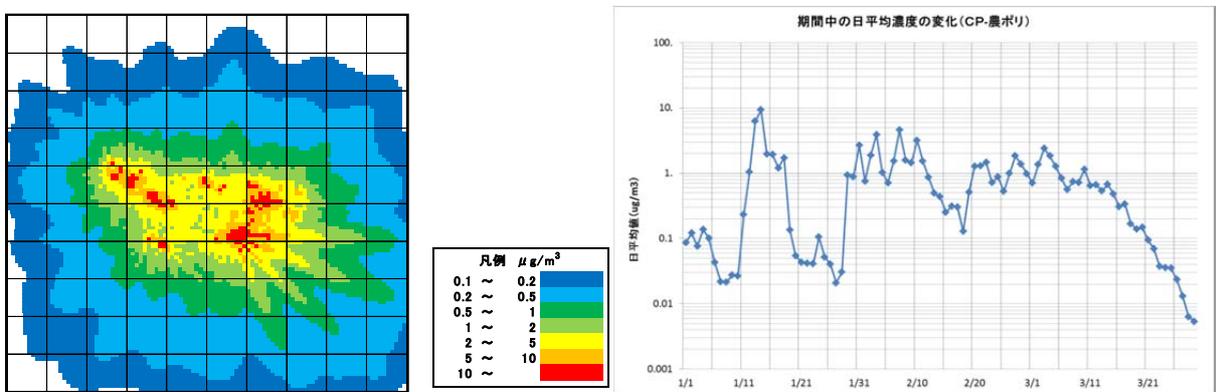
図(6)-14 計算に用いたフラックスの日変化及び日々変化（千葉県・農ポリ）

c シミュレーション結果

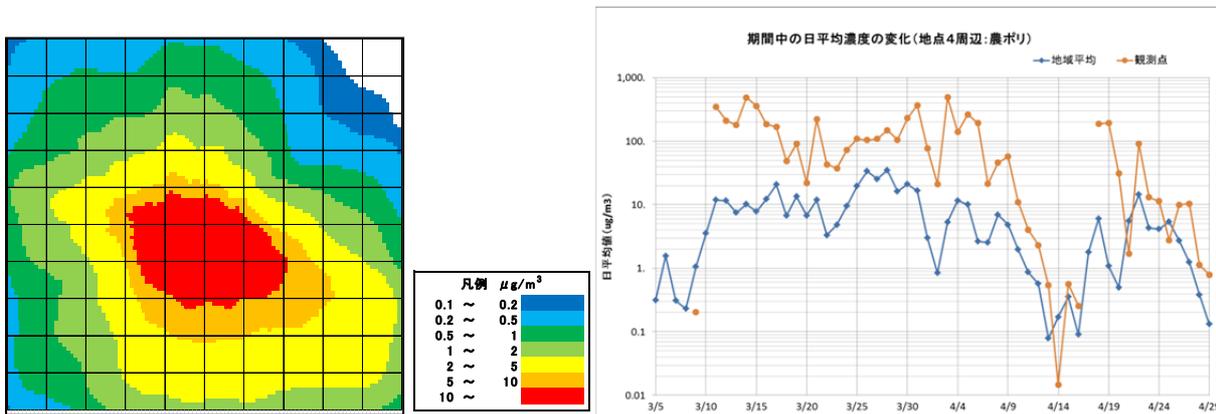
各地域の期間中の平均濃度の分布、及び計算対象全域の平均濃度の日々変化を図(6)-15～図(6)-17に示した。高濃度の範囲はいずれも圃場周辺に限られており、圃場が集中して存在している徳島県では、高濃度の範囲が連続している。各地域とも計算対象地域の周辺部では1/100以下の濃度となっており、DiMCFDによる試算結果で明らかなように、圃場から離れると急速に影響が小さくなる。日々の変化は大きいですが、これは気象条件としては風速の影響があり、さらに、処理の有無が関係しているものと考えられる。



図(6)-15 高知県のシミュレーション結果
(左：期間中の平均濃度：格子のサイズは500m、右：地域平均濃度の日々変化)



図(6)-16 千葉県のシミュレーション結果
(左：期間中の平均濃度：格子のサイズは500m、右：地域平均濃度の日々変化)



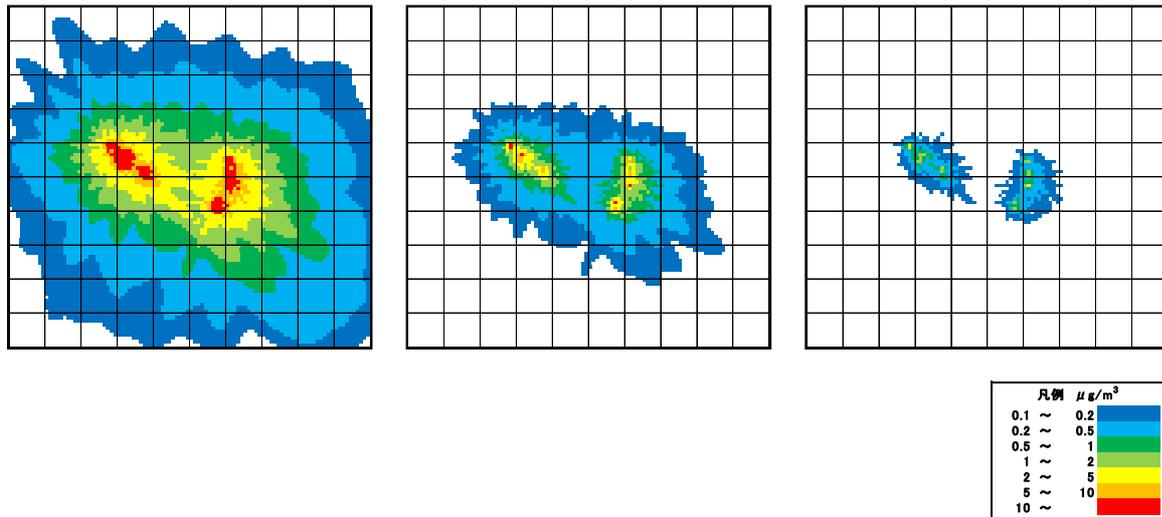
図(6)-17 徳島県（地点4周辺）のシミュレーション結果
(左：期間中の平均濃度：格子のサイズは500m、右：地域平均濃度の日々変化)

4) 大気経路のリスク削減効果への有効性等の評価

緩衝帯設置や効果的な被覆素材の利用等種々の大気への漏洩低減技術を利用することによって得られる大気中への放出効果の低減をモデル化して放出源の作成を行い、削減効果の有効性をシミュレーションによって確認した。

a 被覆素材の変更による効果

千葉県の子測結果を例として被覆資材を変更した場合の効果を示す。ガスバリア性資材の使用は大気中への放出の大きな削減につながる事が明らかである。表(6)-6に示すように、ガスバリア性資材の適用で大気中濃度が1/5になり、さらにハイバリアを使用することで1/5に影響濃度が低下している。



図(6)-18 被覆資材の変更による濃度分布の変化(千葉県)

(左:農ポリ、中:バリアスター、右:ハイバリア、格子のサイズは500m)

表(6)-6 被覆資材の変更による濃度低減率(千葉県)

対象	農ポリ ug/m ³	バリアスター %	ハイバリア %
最高値	64.529	19.7%	4.3%
地域平均値	0.792	18.6%	3.7%
地点1	1.334	19.6%	4.0%
地点2	4.520	18.4%	3.8%
地点3	13.716	17.9%	3.1%
地点4	3.737	18.0%	3.9%
地点5	0.896	18.5%	4.0%

b 処理量変更による効果

徳島県では処理間隔を変更することによる消毒効果の検討を実施している。間隔の変更にしたがって、圃場への処理量を削減することが可能になる。たとえば、30cm間隔での処理を45cm間隔にすることによって、単純計算で処理量を2/3に減らすことが可能になる。この時、放出フラックスが処理量にリニアに変化するとすれば、濃度に直接の削減効果をもたらすことになる。

また、千葉県では、一穴ごとの注入量を3mlから2ml、1mlと減らす検討を実施した。徳島県とは考え方が異なるが、効果は同様であると考えられる。

ガスバリア性フィルムの効果が大きいので、処理量の変化はその効果に隠れた形であるが、組

み合わせることによって、より大きな放出量の削減効果が得られることは明らかである。

表(6)-7 処理量の変更による濃度低減率（徳島県地点4）

被覆資材		処理間隔					
		30cm		45cm		60cm	
		ug/m ³	%	ug/m ³	%	ug/m ³	%
農ポリ	最高値	4034	-	2689	66.7%	2017	50.0%
	地域平均値	11.491	-	7.991	69.5%	6.241	54.3%
ハイバリア	最高値	100	2.5%	22	0.6%	17	0.4%
	地域平均値	1.096	9.5%	0.072	0.6%	0.054	0.5%

5) 地域スケールの土壌くん蒸剤の大気中における動態把握とリスク削減効果についての結論

EPAにおいて大気汚染物質の影響予測に用いられているCALPUFFを用いて、土壌くん蒸剤の処理に伴う大気中での濃度を把握した。今回推定したフラックスによる計算結果では、短時間では特に処理圃場の周辺で大きな濃度が出現しており、土壌くん蒸処理が集中することで、影響が懸念されるケースも想定できるが、適切な被覆資材を用いることや、処理量を勘案すること、処理の分散を図ることにより、リスクを大きく削減できることが明らかとなった。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

土壌くん蒸剤処理に伴う大気中の動態把握のために、シミュレーションを活用し、検討を行った。その結果、モデルや入力データの質等様々な問題があり、絶対値の評価（測定値や評価値との比較）は困難であるものの、測定地点間の濃度差や条件を変更した場合の感度については、十分実用に耐え得るレベルにあることが明らかとなった。

また、各地域の土壌くん蒸剤処理条件下における土壌くん蒸剤の大気中の動態把握、また、削減技術を適用した場合の低減効果の評価（見える化）が可能となった。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

DiMCFDを用いたCSを行うことで、各ケースにおける定量的な変化率を提示することが可能であり、政策の決定の判断材料として使用されることが見込まれる。また、DiMCFDは3次元のシミュレーションであるため、周辺の構造物や濃度分布状況を可視化することで、モデルに詳しくない方々にもわかりやすい資料作りが可能であり、リスク削減技術の普及の際に、使用されることが見込まれる。

CALPUFFについては、園芸地域全体の実態把握を行うことが可能であり、処理を行う時期や対象あるいは気象条件を考慮した地域全体でのくん蒸処理を計画することで、リスクの分散や低減を図ることが可能になると考えられる。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

特に記載すべき事項はない。

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表(査読なし)>

特に記載すべき事項はない。

(2) 口頭発表(学会等)

1) 塩見崇史、小泉正明：第55回大気環境学会年会(2014)

「土壌くん蒸剤の大気中の動態把握に係る研究(1)―DiMCFDの適用に向けた検討―」(一般研究ポスター発表)

2) 小泉正明、塩見崇史：第55回大気環境学会年会(2014)

「土壌くん蒸剤の動態把握に係る研究(2)―地域レベルの影響把握のためのCALPUFFモデルの適用―」(一般研究ポスター発表)

3) 塩見崇史、小泉正明：第56回大気環境学会年会(2015)

「DiMCFDを用いた土壌くん蒸剤の大気中の動態把握に係る研究」(一般研究口頭発表)

4) 小泉正明、塩見崇史：第56回大気環境学会年会(2015)

「土壌くん蒸剤の大気中の動態把握に係る研究(3)―地域レベルの影響把握のためのCALPUFFモデルによる試算―」(一般研究ポスター発表)

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

特に記載すべき事項はない。

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) 大気環境学会関東支部予測計画評価部会「CFDモデル環境アセスメント適用性研究会」：報告書（2012）、「CFDモデルによる大気環境アセスメントガイドライン作成に向けた試算と考察」（参考：大気環境学会・関東支部HP、<http://www.jsae-net.org/KANTO/index.php>）
- 2) 大気環境学会関東支部予測計画評価部会「CFDモデル環境アセスメント適用性研究会」：ガイドライン（2013）、「CFD モデル（DiMCFD）による大気環境アセスメント手法ガイドライン」（参考：大気環境学会HPhttp://www.jsae-net.org/public/DiMCFD_20131021.pdf）

Development of Risk Reduction and Risk Control Techniques of Soil Fumigants Under Japanese Agricultural Conditions

Principal Investigator: Yuso Kobara

Institution: National Institute for Environmental Sciences (NIAES)
3-1-3 Kannondai, Tsukuba-City, Ibaraki 305-8604,
JAPAN
Tel: +81-29-836-8306 / Fax: +81-29-836-8306
E-mail: kobara@affrc.go.jp

Cooperated by: Advanced Institute of Institute for Horticultural Plant Breeding,
Chiba Prefectural Agriculture and Forestry Research Center,
Tokushima Agriculture, Forestry, and Fisheries Technology Support Center,
Kochi Agricultural Research Center,
SUURI-KEIKAKU Co., Ltd

[Abstract]

Key Words: Soil fumigant, Atmospheric concentration, Soil-borne diseases, Gas-barrier films, Simulation models, Flux, chloropicrin, 1,3-dichloropropene, methyl isothiocyanate (MITC)

Chloropicrin(CP), 1,3-dichloropropene (1,3-D) and methyl isothiocyanate (MITC) are major fumigants used in Japan to control soil-borne diseases in crops such as cucumbers, gingers, tomatoes, melons and green peppers. Therefore, it is expected that the consumption of these chemical alternatives will increase steadily in the future. Emissions during and after application represent a pathway for losses of fumigants to the atmosphere and subsequent movement to non-target areas. Because of this, there is concern over possible risks from exposure to these fumigants that might have acute or chronic human health or ecological impacts. The main purpose of this study was to offer simple estimation methods of the emission fluxes from fumigated fields to simulate the atmospheric concentrations and to reduce emission losses of fumigants with gas-barrier films.

Soil fumigation in greenhouses and in agricultural fields involves covering the soil surface with a plastic film immediately following application, thereby providing a barrier to reduce the loss of the chemical via volatilization. To reduce emissions and to develop fumigation management practices that protect the environment while providing adequate pest control, they must also maintain their impermeability to fumigant vapors under field conditions. However, commercially available gas-barrier films in Japan are limited to a few kinds of brands, and these films are not fully satisfying requirements of applicators. The purpose of this study was to support the development and promotion of gas-barrier

films for soil fumigation, and to evaluate gas-barrier performance of these films. The provided films for this study were 11 brands of gas-barrier films including 2 prototypes. These films are for narrow-strip, bed fumigation in open-fields or overall, broad-acre fumigation, and cover approximately all the requirements for various soil fumigations. The evaluation of the gas-barrier performance against fumigants was carried out by the cup method. In addition, this study proposes a method for estimating the mass transfer coefficient (h , a measure of permeability) of fumigant vapors across agricultural films in the combination of fumigants. This method is especially useful as a screening tool for the development of new management practices for soil fumigation. These results, which indicate that the combinations of these fumigants and gas-barrier EVOH are the most effective, and these fumigant compounds traverse the plastic film essentially independently, will aid efforts to model and predict fumigant volatilization using a mass transfer approach, and aid in the development of approaches to reduce emissions resulting from soil fumigation.