

臭化メチルを巡る国際動向と代替技術

西 和 文

独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構野菜茶業研究所

Present Situation of Methyl Bromide and Its Alternatives

Kazufumi NISHI

National Agriculture and Bio-oriented Research Organization

National Institute of Vegetable and Tea Science

キーワード：臭化メチル，不可欠用途，オゾン層，代替技術，モントリオール議定書

1 臭化メチルを巡る動向

臭化メチルは，土壌くん蒸剤として最も広く利用されてきた薬剤である。有効範囲が広い，処理が簡便，低温時にも有効，安価，除草効果を併せ持つなどといった特質が，広く受け入れられてきた背景にある。しかし，地球を取り巻くオゾン層の破壊に関連する物質であることが指摘されるようになって，臭化メチルに対する風当たりが強くなった。1992年，「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」第4回締約国会合は，臭化メチルをオゾン層破壊に関与する物質と位置づけ，将来の全廃を見据えて，当面消費量を1991年のレベルで凍結することとなった。1995年の第7回締約国会合は，消費の段階的削減を図ることで合意し，議定書の第5条に示された開発途上国を中心とした各国（5条国）では2002年以降は消費量を1995-1998年の平均消費量以下に抑えること，その他の諸国（非5条国：アメリカ，EU諸国，イスラエル，オーストラリア，ニュージーランド，日本など）は2010年に全廃することで合意した。削減スケジュールは，1997年に開催された第9回締約国会合で見直され，非5条国は2005年，5条国は2015年を目標に，「不可欠用途」など国際的合意に基づく例外的措置を除いては，その使用を規制することとなった。この国際的合意に基づき非5条国は臭化メチル消費量（本報では，消費量＝生産量＋輸入量－輸出量と定義する）の段階的縮小に努めてきたが，2005年からは，国際的合意に基づく例外的措置以外の用途向けの消費がすべて禁止される新しい段階に入っている。

図1に示したのは，1991年以降における世界の臭化メチル消費量の推移である。非5条国における消費量は，規制がスタートした1995年以降，順調に削減されてきており，2003年の消費量は，基準年である1991年

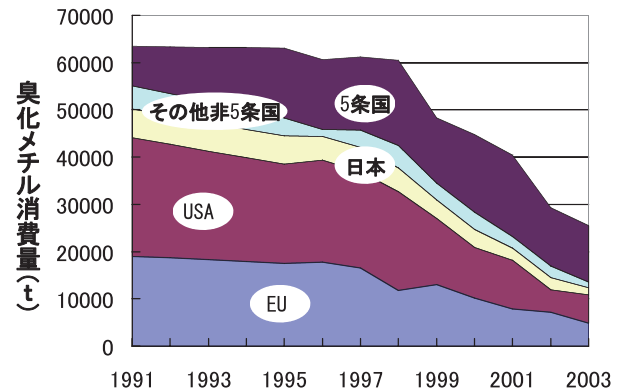


図1 臭化メチル消費量の推移
(May 2005 TEAP Report をもとに作成)

の消費量（56,043 t）の26%まで低下した。一方，5条国における消費量も，規制の導入とともに徐々に削減される傾向にあり，2003年の消費量は，基準年である1995-1998年の平均消費量（15,765 t）の75%まで低下した。臭化メチルの生産は，2003年現在，非5条国であるアメリカ，フランス，イスラエル，日本および5条国の中国とルーマニアで続けられている（ただし検疫用に限れば，これらの国以外でも生産されている）。2003年の生産総量は，非5条国が24,580 t（輸出用も含む），5条国が960 tである。

我が国における臭化メチルの生産量は，1994年をピークに順次下降してきている（図2）。消費の段階的削減が始まった1995年からは，削減スケジュールに従って順調に削減が進み，2005年からは，国際的に合意された例外的措置である「不可欠用途」と検疫用に限った消費になっている。すでに「臭化メチル」の農薬登録は失効しており，代わって「不可欠用途専用臭化メチル」が登録されている。不可欠用途専用臭化メチル剤は，従来

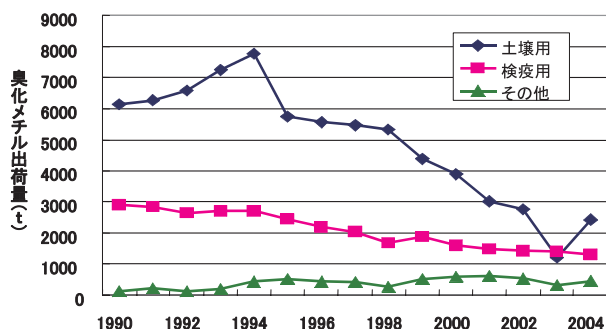


図2 我が国における臭化メチル出荷量の推移
(農林水産省植物防疫課の資料をもとに作成)

の臭化メチル剤と区別が付くように、ラベルの色が藤色に統一されている。我が国に認められた「不可欠用途」向け消費量は、2005年使用分が748 t、2006年使用分が741.4 t、2007年使用分が636.172 tで、これは削減の基準年とされた1991年の消費量の12.2%、12.1%および10.4%に相当する。

2 不可欠用途申請の仕組みと審査動向

臭化メチルの不可欠用途は、次のような手順により、決められる。まず、各生産者（農家、農協、農業法人等）は「臭化メチル不可欠用途調査申請書」を各都道府県に提出し、都道府県はそれを取りまとめて地方農政局を經由（北海道は直接）して農林水産省に送付する。農林水産省は全体を集約し英訳して、外務省を経て国連環

境計画（UNEP）オゾン事務局に申請する。オゾン事務局は、「技術経済評価パネル（TEAP）」とその下部委員会である「臭化メチル技術選択肢委員会（MBTOC）」に不可欠用途に該当するか否かの審議を求める。MBTOCでは各国からの申請が、①臭化メチルが利用できないことにより、その市場に著しい混乱が生じるため、臭化メチルの使用が不可欠である、②代替方法あるいは代替品がない、技術的にも経済的にも実行可能な技術等がない、③臭化メチルの不可欠な使用と放出量を最小限とするあらゆる技術的・経済的措置がとられている、④貯蔵または回収された臭化メチルの質と量が不十分である、⑤代替方法および代替品を評価し、商業化する適切な努力が払われており、代替法の開発と普及のための調査研究が行われているという、5つの条件のすべてに該当するか否かを判断し、該当すると認めたものを不可欠用途として勧告する。申請内容によっては、追加資料を求めた上で判断するとされる場合もある。MBTOCでの審議結果はTEAPで確認後、オゾン事務局のWebページに掲載される。TEAPの勧告内容は、モントリオール議定書の締約国が集まる公開作業部会（OEWG）で議論され、最終的には締約国会合（MOP）で議決されて、最終決定となる。TEAPの勧告内容に不満がある場合は、再審査を求めることもできる。

不可欠用途の申請は、2003年から始まり、3年目に入っている。これまでに20カ国が不可欠用途申請を行っているが、その申請数量と承認数量は、表1に示す通りである。各国とも申請量を基準値（臭化メチル規制の基準

表1 臭化メチル不可欠用途の申請数量と承認数量

国名	基準値	2005年使用分		2006年使用分		2007年使用分	
		申請数量	承認数量	申請数量	承認数量	申請数量 [†]	承認数量 [†]
オーストラリア	705	206.95	146.9	81.25	75.37	41.9	40.88
ベルギー	—	103.895	59.824	42.02	18.57	—	—
カナダ	246	61.992	61.84	53.897	53.897	39.988	39.988
フランス	4,195	650.135	474.635	478.885	429.035	—	—
ドイツ	—	45.25	45.25	19.45	19.45	—	—
ギリシャ	970	391.28	227.28	120.236	119.681	—	—
アイルランド	—	—	—	0.888	0.888	—	—
イスラエル	3,580	2,217.156	1,075.306	1,081.506	880.295	—	—
イタリア	8,667	3,005.5	2,298.225	2,560.5	1,811.225	—	—
日本	6,107	748	748	741.4	741.4	651.7	636.172
ラトビア	—	—	—	2.502	2.502	—	—
マルタ	—	—	—	1.103	1.103	—	—
オランダ	—	1.32	0.12	0.12	0.12	—	—
ニュージーランド	135	53.085	50	53.085	40.5	—	—
ポーランド	200	44.1	44.1	46.16	45.72	—	—
ポルトガル	—	200	50	8.75	8.75	—	—
スペイン	4,235	1,159	1,059	1,055.89	983.355	—	—
スイス	—	8.7	8.7	7	7	—	—
イギリス	629	153.881	134.33	106.966	96.356	—	—
アメリカ合計	25,529	10,753.997	9,526.313	9,589.9	7,658.256	7,417.999	7,465.89
合計		19,804.241	16,009.523	16,051.508	12,993.473	8,151.587	8,182.93

単位：t。申請数量、承認数量とも第17回締約国会合（2005年12月）終了時の数量。

†：EU諸国など来年申請予定の国があり、最終的な数量はこの数値と同じか上回る見込み。

年である1991年の消費量)より減らしているとはいうものの、それぞれの国における臭化メチル使用実績や削減意欲を反映して、申請数量に大きな違いが出ている。アメリカは削減に消極的で、申請数量、承認数量ともに、全体の50%を超えている。2005年使用量は、承認値が基準値の37.3%となったが、実際の消費量の上限は段階的削減の最終年である2004年の消費量である基準値の30%にとどめることとなっている。一方、EC委員会は臭化メチルの削減に積極的で、2005年使用分については承認数量からさらに削減した数量を域内各国の消費量とし(表2)、2005年の申請にあたっては、域内各国の申請希望量を独自の審査で絞り込んだ上で、オゾン事務局に申請してきている。不可欠用途そのものについても、早期に全廃する方向での意見を提出している。我が国は、臭化メチル以外の技術が適用困難と判断される病害虫に申請を絞った結果、申請数量は基準値の10.7-12.2%となっている(表3)。

各国の申請対象は多岐にわたるが、大別して土壌用と倉庫などのくん蒸処理などのポストハーベスト等に分けられる。不可欠用途申請は、土壌用とポストハーベスト等の双方で申請している国が多いが、マルタとポルトガルは土壌用のみ、ドイツ、アイルランド、ラトビアおよびオランダは、ポストハーベスト等のみの申請となっている。土壌用では、イチゴ、トマト、ナス、メロン、キュウリなどで、各種土壌病害、雑草防除用に、申請されている。土壌伝染性ウイルス病対策に絞って申請しているのは、日本だけである。ショウガの申請は、かつてはアメリカも行っていたが、現在は日本だけである。ポスト

ハーベスト等では、製粉工場等のくん蒸、乾果等のくん蒸、建造物のくん蒸などで申請されている。クリは、日本のほかフランスが申請している。

各国の申請量に対する承認量の割合を、双方の数値が確定している2005年使用分および2006年使用分でみると、2005年使用分が9.1-100%、平均80.8%、2006年使用分が44.2-100%、平均90.8%となっている。申請量がそのまま承認されたのは、ドイツ、日本、スイスの3カ国と、2006年使用分から新たに申請に加わったアイルランド、ラトビアおよびマルタの3カ国に過ぎない。ただし、ドイツはEC委員会による再査定の結果、締約国会合の承認量の一部を返上させられている(表2)。また、2007年使用分では、日本は申請量の一部を減量のうえ承認されている。

審査の過程では、技術的に代わりうるものがないこと、あるいは代わりうるものがあっても導入した場合の経済的なロスが大きいことを示さなければならない。各国からの申請に対しては、MBTOCから様々な問題点や疑問点が提起される。不可欠用途として認められるためには、提起された問題点や疑問点に対し、納得できるような論理的説明とデータの裏付けを提示する必要がある。日本の申請では、ピーマンモザイク病の病原ウイルスである *Pepper mild mottle virus* (PMMoV) が土壌伝染することの証明、ショウガの根茎腐敗病での代替技術と目される各種技術の防除効果が低いことの証明、ショウガの根茎腐敗病で防除効果が認められる技術でもマンガン過剰症の発生など他の要因により導入が困難なことの証明、ショウガ根茎腐敗病では代替技術に切り替えた場合に蒙る経済的ロスが大きいことの証明、ピーマンモザイク病やメロンえそ斑点病の抵抗性品種が利用できないことの証明など、データを示した上で説得に当たってきた。地域により処理薬量が異なる点なども、気象や土壌条件の違いなどを挙げて、論理的説明に努めてきた。日本以外の国でも、クロルピクリンが登録されていなかったり、D-Dの使用量や使用方法に法律的な規制がかかっていたり、除草剤のきかない特殊な雑草が広がっていたりという具合に、それぞれの事情をあげて、臭化メチルが不可欠であるとの説明を行っている。

こうした経緯を経て承認された不可欠用途向けの臭化

表2 EC委員会による承認量の再査定

国名	MOP承認量	EC決定量
ベルギー	59.824	49.126
フランス	474.635	194.750
ドイツ	45.25	19.60
ギリシャ	227.28	143.081
イタリア	2,298.225	1,453.780
オランダ	0.12	0.12
ポーランド	44.1	38.1
ポルトガル	50	35.0
スペイン	1,159	775.700
イギリス	153.881	68.076

表3 日本からの不可欠用途申請と審査結果

作物名	対象病害虫	2005年使用分		2006年使用分		2007年使用分	
		申請	承認	申請	承認	申請	承認
クリ	クリシギゾウムシ	7.1	7.1	6.8	6.8	6.5	6.5
キュウリ	緑斑モザイク病	88.3	88.3	88.8	88.8	72.4	72.4
ショウガ	根茎腐敗病	142.3	142.3	142.3	142.3	127.0	124.172
メロン	モザイク病	194.1	194.1	203.9	203.9	182.2	182.2
	えそ斑点病						
スイカ	緑斑モザイク病	129.0	129.0	98.9	98.9	94.2	94.2
トウガラシ類	モザイク病	187.2	187.2	200.7	200.7	169.4	156.7
合計		748.0	748.0	741.4	741.4	651.7	636.172

単位: t .

メチルは、その使用にあたって、厳しい制限が設けられている。締約国会合で不可欠用途承認量が確定すると、都道府県は「臭化メチル不可欠用途調査申請書」を提出した使用者（農家、農協、農業法人等）に対し、「審査結果通知書」を送付する。これを受け取った使用者は、購入希望月や数量を記した「購入予定票」を都道府県に提出する。都道府県は購入予定票を取りまとめて、地方農政局を経由して、不可欠用途臭化メチル管理事務局（メチルブロマイド工業会内に設置）に報告する。不可欠用途臭化メチル管理事務局は、使用者とも連絡をとりながら、不可欠用途専用臭化メチルの需給調整を行って、使用者が円滑に購入できるようにする。使用者は、定められた製造業者または農薬販売業者から不可欠用途専用臭化メチルを購入するが、その際「審査結果通知書」を提示する必要がある。購入した使用者には、不可欠用途専用臭化メチルの使用量、使用場所、使用期日、適用作物名、対象病害虫、使用方法などを記録しておくことが求められる。この記録は、後日取りまとめられてオゾン事務局に提出する報告書の基礎資料となる。不可欠用途専用臭化メチルの目的外使用や転売は、一切禁止されている。

UNEPでは、オゾン層破壊物質の生産規制を強化している。日本政府も、1985年に採択された「オゾン層保護のためのウィーン条約」、1987年に採択された「オゾン層を破壊するモントリオール議定書」を批准し、その後の数次にわたる改正内容を受け入れて、オゾン層保護のための活動を強化してきた。UNEPでは、オゾン層破壊物質ごとに規制内容を定め（表4）、規制が進んで不可欠用途のみの生産となった物質についても、最終的な全廃に向けた努力を続けている。臭化メチルについては、不可欠用途を申請する国に対して、臭化メチル不可欠用途を全廃するための「臭化メチル削減戦略」を2006年2月1日までに提出するよう求めている。この中では、①臭化メチル不可欠用途の消費を削減する努力、②技術的・経済的に実用可能な代替方法の開発、登録、普及促進の努力、③不可欠用途臭化メチルの申請数量を将来減少あるいは全廃するために、新しく開発された代替方法の普及情報あるいは将来使用される可能性のある代替方法に関する情報、④臭化メチルの放出を最小限としている

方法、⑤技術的・経済的に実用可能な代替方法が利用できるようになったとき速やかに臭化メチルの使用を全廃するために進めている戦略、などの内容を盛り込むことが求められている。UNEPのこうした努力の結果、大気中におけるオゾン層破壊物質の濃度は、1998年をピークに減少に転じている。大気中における臭化メチルの濃度も、1950年代半ばより急上昇したが、1998年からは減少傾向を示している。

現在、MBTOCやMOPでは臭化メチル不可欠用途の審査にあたっての標準的な基準の論議が進んでいる。この内容は、①臭化メチルの処理量は寒冷地粘土質土壌で最大45g/m³、砂質土壌で35g/m³、構造物の処理では最大20g/m³、収穫物処理ではヨーロッパ植物防疫機構（EPPO）の基準とする、②難透過性あるいは低透過性フィルムを使用する、③土壌病原菌対策用には、臭化メチルとクロルピクリンの混合比50:50のものを標準とする、④Nutgrassなど難防除雑草対策用には、臭化メチルとクロルピクリンの混合比67:33のものを標準とする、⑤圃場の全面処理でなく、畦処理を原則とする、といったことからなっている。この基準が合意されれば、基準に合致しない申請には、それなりのペナルティーが課される。例えば全面処理の申請に対しては承認数量は33%カットされ、難透過性あるいは低透過性フィルムを使用していない場合には、25%のカットということになる。現在この基準はまだ合意に達していないが、今後はこの基準に準拠した形で審査が進められるのは間違いないと考えられる。基準が合意された場合でも、各国それぞれの特殊事情については配慮するという事になっているので、この基準に合致していないからといって、直ちに不承認となったり承認数量が減らされたりするわけではない。しかしその場合には、基準通りの処理では不都合であることを示す必要がある。2007年使用分で、日本がピーマンやショウガで行った不可欠用途申請に対し、若干の減量勧告が行われている。これらは、「難透過性あるいは低透過性フィルムを全面導入して臭化メチル処理量の削減を図りなさい」というMBTOCおよびMOPからのサインと受け止める必要があると考えられる。

日本は、締約国会合公開作業部会の中で、土壌伝染性

表4 UNEPによるオゾン層破壊物質生産規制の概要

規制対象物質	ODP	規 制 内 容
ハイドロクロロフルオロカーボン（HCFC）	0.005～0.52	1996年から段階的に削減し2020年全廃。冷凍空調の補充用冷媒は2029年まで一部生産承認。
臭化メチル	0.6	1995年から段階的に削減し2005年（先進国）または2015年（開発途上国）以降全廃。検疫用は規制対象外。不可欠用途を認める。
クロロフルオロカーボン（CFC）	0.6～1.0	1996年以降全廃。不可欠用途を認める。
ハロン	3.0～10.0	1994年以降全廃。
四塩化炭素	1.1	1996年以降全廃。不可欠用途を認める。
1,1,1 トリクロロエタン	0.1	1996年以降全廃。不可欠用途を認める。
ハイドロプロモフルオロカーボン（HBFC）	0.1～1.4	1996年以降全廃。不可欠用途を認める。
プロモクロロメタン	0.12	2002以降全廃。

ODP：大気中に放出された当該物質がオゾン層に与える影響を、CF-11を1.0として評価した相対値。

ウイルス病に対して臭化メチルとクロルピクリンの混合剤の登録はない、畦処理では全面処理に比べて防除効果が劣ることがある、特に土壌伝染性ウイルス病では防除効果の確保が懸念される、難透過性あるいは低透過性フィルムは必要量が確保されない現状である上、価格や取り扱いに難があるなどと主張している。クリシギゾウムシのくん蒸処理では、処理基準はEPPOの基準と合致するわけではないが、クリの薬害回避とクリシギゾウムシの完全防除を図るためには、この基準が適当であると主張してきており、この点は審査の中で問題となっていない。審査基準の設定という流れの中で、難透過性あるいは低透過性フィルムの導入や畦処理を行った場合の防除効果についての検討は不足しており、現地での実証データの収集、難透過性あるいは低透過性フィルムの供給体制の確保、農薬登録など制度面からの検討など、対応を急ぐ必要のある課題も出てきている。

3 臭化メチル代替技術の国際動向

臭化メチルに代わって何を採用するかということは、農家や農業関係者にとって、大きな関心が寄せられているところである。オゾン事務局には、各国から代替技術に関する情報が寄せられていて、これらは「Methyl Bromide Alternatives」として時々のTEAP Reportに掲載され、オゾン事務局のWebsite (<http://www.unep.org/ozone/index.asp>) から閲覧することができる。この中で

臭化メチル代替剤として有力なのは、クロルピクリン、D-Dとクロルピクリンの混合剤、カーバムナトリウム塩やダゾメットなどのメチルイソチオシアネートが生成されて活性を示す剤、ホスチアゼート、アジ化ナトリウムなどとしている。表5に、代替剤に関する情報を要約して取りまとめた。

薬剤以外の技術としては、熱処理、太陽熱処理、少量土壌を用いた栽培、水耕栽培、接ぎ木、抵抗性品種の利用などがあげられている。Biofumigationは単独での効果よりも、投薬量の削減につながるとし、生物防除の採用も進んでいるとしている。表6に、農業に依存しない代替技術の情報を取りまとめた。

4 日本における代替技術開発と普及の現状

日本における代替技術は、抵抗性品種・台木の利用と、土壌消毒が中心となり、作物の種類によっては、たとえばイチゴで高設栽培が普及するなど、土耕栽培から離れて少量の土壌しか使用しない栽培法も普及している。技術の内容は、大筋では世界各地の動向と異なるわけではないが、日本オリジナルの技術として注目すべき技術もある。

その第1は、熱を利用した土壌の物理的消毒法である。日本で開発・実用化された物理的消毒法で代表的なものには、太陽熱消毒法とその改良型があり、最近では熱水・土壌消毒の開発・実用化が、注目されている。

表5 オゾン事務局に寄せられた臭化メチル代替剤の情報

代替剤	技術内容
クロルピクリン	糸状菌に対する顕著な効果から臭化メチル代替薬として有力だが、使用が許可されていない国もある。中国では2002年に封入タイプの剤が登録され、普及始まる。フロア剤はイタリア、アメリカ、日本で登録。日本はクロルピクリンとホスチアゼートの連続処理体系を開発。両剤を用いることで効果のおよぶ範囲が拡大。
ホスチアゼート	土壌処理剤として線虫防除に有効。日本では、クロルピクリンとの組み合わせ処理で使用されることも多い。
カズサホスシアン	線虫や土壌害虫に有効。日本ではクロルピクリンとの組み合わせ処理で使用されることも多い。オーストラリアでイチゴやニンジンの糸状菌病や雑草に対する代替技術として評価されている。線虫に対する効果は未検討。
Dazitol †	アメリカで登録されているが試験例は少ない。トマトやシバの土壌病害虫に有効。ヨルダンではキュウリやメロンでも有効との試験例。臭化メチルに代わりうるかの評価のためには、より多くの試験例が必要。
D-D + クロルピクリン	臭化メチル代替薬として認識されつつある。オーストラリアやスペインではイチゴ産業で利用。フロア剤がアメリカで登録される。メロン、カンキツ、ブドウ、イチゴの土壌病害、線虫、雑草に有効。
カーバム・ダゾメット (MITC とその関連剤)	土壌病原菌と雑草の双方に効果があることから臭化メチル代替薬として有力。ただし、効果の安定性確保のための処理方法の改善、他剤との組み合わせ処理技術の開発が進む。チリ、南アフリカ、フランス、オランダ、ベルギー、スペイン、イタリアなどで採用されている。
ヨウ化メチル	臭化メチルと同様の効果を示す。オゾン層破壊に及ぼす影響は、非常に低い。アメリカではまもなく登録の予定。
ジメチルジスルフィド	フランスやイタリアで検討が進む。糸状菌や線虫に効果があるが、臭化メチル代替剤としての評価にはさらなる検討が必要。
プロピレンオキサイド アジ化ナトリウム	病原菌や雑草に効果。さらなる検討が必要。 アメリカで検討が進む。糸状菌、線虫、雑草に有効。Nutsedge に対しては効果不十分。ネグサレセンチュウに対する効果も、十分でない。
スルフルプロライド	土壌病原菌や線虫に対する効果を確認。さらなる検討が必要。

†：トウガラシから抽出したキャプサイシンとカラシナ種子から抽出したアリルイソチオシアネートが主成分

表6 オゾン事務局に寄せられた農薬に依存しない代替技術情報

代替技術	技術内容
熱処理	臭化メチル代替技術として蒸気消毒が広がりがつつあることを指摘。オランダの花苺栽培では約50%が利用。熱水土壤消毒が日本で開発され、普及しつつある。オランダとイスラエルで、800°C以上の熱風を用いて土壤消毒を行う機械が開発された。この機械は250mの長さの畦を1時間で処理する能力を持つが、商業利用のためにはさらなる検討が必要。
太陽熱処理	気候と栽培条件に恵まれた地域で、その利用が拡大しつつある。コスタリカではメロン栽培地の20%で利用しているが、カーバムナトリウム塩と併用すると、その効果はより安定する。近年アメリカでは、育苗用土の消毒に太陽熱を利用するシステムを開発。
Biofumigation	単独では十分な効果は出ないが、薬剤と併用することにより、必要な薬量の削減が可能。本法では、植物の分解過程で生ずる揮発性物質あるいは根から直接分泌される揮発性物質を利用する。土壤病害、害虫、線虫防除に効果。
生物防除	イスラエルでは <i>Trichoderma harzianum</i> を用いたカーネーションとトマトの <i>Fusarium</i> および <i>Rhizoctonia</i> による病害の実用的な防除に成功。ケニア、チリ、コロンビアなどでも、蒸気消毒後の土壤に <i>Trichoderma</i> 菌を添加する技術を採用。
少量土壤・水耕栽培	少量土壤を用いた栽培や水耕栽培は、花きや種苗、野菜生産など、集約的な施設栽培で、増加している。初期投資が必要であるが、生産性の向上、収量増などを考えると、経済的にも有益。少量土壤のリサイクルのために必要な消毒は、蒸気消毒で対応可能。
接ぎ木	世界各地に普及。利用可能な台木品種の確保が課題。
抵抗性品種	抵抗性品種は、世界各地で採用されている。特にトマトとメロンでの採用は多い。

太陽熱消毒は、土壤に十分な水分を与えた後、表面を農業用ビニルまたはポリエチレンフィルムで被覆し、施設では密封処理を併用して、太陽熱を取り込むことによって地温を上げ、土壤消毒を行う。1970年代に奈良県でイチゴ萎黄病対策として体系化された¹⁻³⁾のが始まりで、その後他の病害に対しても広く適用されるようになった。実施可能時期が夏期に限られること、天候の影響を受けて防除効果が安定しないこと、北日本や高標高地での効果は期待できないこと、露地での効果は低いことなどの弱点をもつが、簡単でコストがかからない土壤消毒法である。海外では、イスラエルなどの乾燥地域や熱帯・亜熱帯地域に広く受け入れられている。

太陽熱消毒は、防除効果が気象条件の影響を受けやすいという弱点をもつが、この面の改良も我が国で進んだ。改良は2つの方向で行われた。第1は、施肥や作畦終了後に太陽熱消毒を行い、消毒終了後再び耕起することなくそのまま定植する方法⁴⁾である。宮崎県で開発されたので、「宮崎方式」とも呼ばれている。この方法は、消毒効果が十分に及んでいない下層土壤が表層部の土壤に混入することがないため、防除効果が安定する。宮崎県など暖地で取り入れられている。第2の方向は、分解されやすい有機物を土壤に混入した上で太陽熱消毒を実施するもので、「土壤還元消毒」とよばれる^{5,6)}。有機物としては、低価格であり入手が容易なことから、フスマや米ヌカが、一般に利用されている。本法では、混入された有機物を餌として微生物が急激に繁殖して、土壤が還元状態となる。また多量の有機酸が生成される。還元状態と有機酸による影響がプラスされることによって、通常の太陽熱消毒では効果がおよばない温度域でも、防除効果がおよぶようになった。本法は、太陽熱消毒では防除効果が期待できない北海道などの北日本でも、実施可能である。千葉県や岐阜県などで、広く取り入れられている。

熱を利用した物理的消毒法の中でもう一つ注目されている日本オリジナルの技術は、熱水土壤消毒である⁷⁾。本法は、高温の熱水（通常80-95°C）を圃場に注入することによって地温を上げ、消毒するものである。透水性に恵まれた圃場での防除効果は、非常に安定している。アメリカなどで試験的に試みられたことはあるが、実用化に成功したのは日本が最初である。熱水調製用のボイラーの整備など一定の初期投資が必要であるが、防除効果の安定性に加え、作物の生育促進効果を併せ持っている点が、高い評価を受けている。韓国では、この技術を導入して、実用化に取り組み始めている。

代替農薬ではホスチアゼート剤が、日本オリジナルの技術として注目されている。本剤はアセチルコリンエステラーゼの阻害作用をもつ接触型の薬剤で、他の土壤消毒剤のようなガス効果はない。線虫に対する防除効果が高く、クロルピクリン剤と併用することで、相互に補い合って、土壤病害虫に対する防除効果を高めることができる。

土壤消毒以外の技術の中にも、イチゴの高設栽培や育苗方式、抵抗性品種の育成など、日本で開発・実用化された技術に注目する点が多い。

代替技術の開発が十分に進んでいないのが、土壤伝染性ウイルス病対策である。弱毒ウイルスに期待が寄せられているが、防除効果や生育阻害作用など、現状では改良すべき点が多い。一部に抵抗性品種が育成されているが、病原ウイルスに新しい系統が出現して抵抗性が崩壊したり（ピーマンモザイク病）、抵抗性品種の販売価格が低すぎたり（メロンえそ斑点病）するなど、問題の最終解決には至っていない。熱水土壤消毒や蒸気消毒を繰り返しているとピーマンモザイク病が発生しなくなったという事例が一部の農家で認められているが、検証が必要である。当面は、不可欠用途専用臭化メチルの使用が可能であるが、いつまで継続して使用が認められるか

は不確定であり、代替技術の開発と実用化は急務である。

摘要

臭化メチルは、国連環境計画のもとで使用規制が次第に強化され、本年より不可欠用途など国際的に認められた用途に限ってその使用が許される新しい規制段階に入った。不可欠用途は、20カ国から申請されている。日本は、6作物7病害虫で申請しているが、これまではほぼ申請通り認められてきた。しかし、不可欠用途の廃止を含めた一層の規制強化、難透過性あるいは低透過性フィルムの使用による薬量の削減、畦処理の導入による処理面積の縮小などの動きもあり、不可欠用途の審査には厳しさが増している。臭化メチルに代わる土壤病害対策としては、クロルピクリン、D-D、メチルイソチオシアネートなどを用いた化学的防除法や、熱を利用した物理的防除法の開発と現場導入が進められている。特に太陽熱消毒法を改良した土壤還元消毒と、高温の熱水を圃場に注入することで土壤消毒を行う熱水土壤消毒は、日本で開発された新しい技術として注目されている。土壤消毒以外では、高設栽培などの導入による栽培法の改善、抵抗性品種の導入などの対策も進んでいる。しかし、土壤伝染性ウイルス病の防除対策は、現状ではまだ不十分であり、早急な技術開発が求められている。

引用文献

- 1) 小玉孝司・福井俊男. 1979. 太陽熱とハウス密閉処理による土壤消毒法について. I. 土壤伝染性病原菌の死滅条件の設定とハウス密閉処理による土壤温度の変化. 奈良農試研報. 10: 71-82
- 2) 小玉孝司・福井俊男・中西喜徳. 1978. 太陽熱とハウス密閉処理による土壤消毒法について. II. イチゴ萎黄病ほか土壤伝染性病害に対する土壤消毒効果と効果判定基準の設定. 奈良農試研報. 10: 83-92
- 3) 小玉孝司・福井俊男・松本恭昌. 1980. 太陽熱とハウス密閉処理による土壤消毒法について. III. ハウス密閉処理が土壤微生物数およびイチゴ萎黄病菌の行動に及ぼす影響. 奈良農試研報. 11: 41-52
- 4) 白木己歳・小岩崎規寿・串間秀敏・高橋英生・岩下 徹・野間 史. 1998. 太陽熱利用土壤消毒の効果安定策としての土壤管理体系の開発. 宮崎総農試研報. 32: 1-11
- 5) 新村昭憲. 2000. ネギ根腐萎凋病の原因と対策. 土壤伝染病談話会レポート. 20: 133-143
- 6) 新村昭憲. 2004. 還元消毒法の原理と効果. 土壤伝染病談話会レポート. 22: 2-12
- 7) 西 和文 (編). 2002. 熱水土壤消毒—その原理と実践の記録—. 日本施設園芸協会. 185p