

特集：ポスト臭化メチル時代の土壤病虫害防除

総論：ポスト臭化メチル時代の土壤消毒法

野菜茶業研究所 にし西 かず和 ふみ文

はじめに

臭化メチルは、土壤くん蒸剤として最も普通に使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、強い除草効果をも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、1992年にオゾン層破壊に関連する物質の一つであるとモントリオール議定書第4回締約国会合が認定したことから、将来の全廃を目指した使用規制がスタートすることとなった。第4回締約国会合では、先進諸国は消費量（ここでは、消費量＝生産量＋輸入量－輸出量とする）を当面1991年レベルで凍結することが決められ、97年の第7回締約国会合では先進諸国は2010年に特別の用途を除き全廃することを目指した段階的削減に入ることとし、開発途上国は02年以降1995～98年の平均消費量以下に抑えることとなった。削減スケジュールは、1997年の第9回締約国会合で見直され、先進国の全廃期限の2005年への繰り上げと途上国での規制の強化が決められた。現在は、日本やアメリカ、EU諸国などの先進各国では、国際的合意に基づく例外的措置以外の目的に臭化メチルを使用することは全面的に禁止されている。例外措置として認められているものは、輸出入物品の検疫用に使用される検疫用途、予期せぬ病虫害の発生などに当たり、国の責任で使用する緊急用途（最大年間20t）および不可欠用途である。また開発途上国では、1995～98年の平均消費量の80%以下にその消費量を抑えることとなっている。

こうした規制措置を受けて、先進諸国における臭化メチル消費量は着実に低下し、2005年の不可欠用途臭化メチルの消費量は、臭化メチル規制の基準年とされている1991年の消費量の22%まで低下している（図-1）。日本も例外でなく、1994年をピークとして生産の縮減が続き、最近決定された2008年の不可欠用途消費許容量は、基準年である91年の消費量の7.3%にまで低下している（図-2）。

I 不可欠用途臭化メチルの動向

不可欠用途臭化メチルは、2005年から使用されるようになった。不可欠用途申請は、使用予定年の前年と前々年の2回にわたって認められるので、具体的な不可欠用途の審査は、2003年から開始された。審査は、「技術経済評価パネル（TEAP）」とその下部機関である「臭化メチル技術選択肢委員会（MBTOC）」が担当し、モントリオール議定書締約国会合（MOP）の承認を経て最終的な不可欠用途の使用許可が得られる。初年度となった2005年使用分には約19,800tの申請が寄せられ、そのうち約16,000tが不可欠用途として承認された。臭化メチルの使用目的は、作付け前の土壤処理が90%以

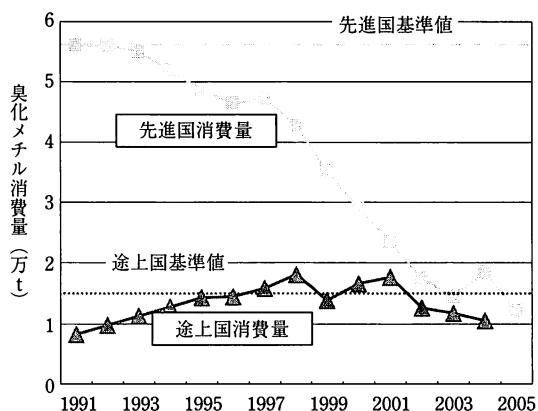


図-1 臭化メチル消費量の推移 (TEAPの資料より作成)

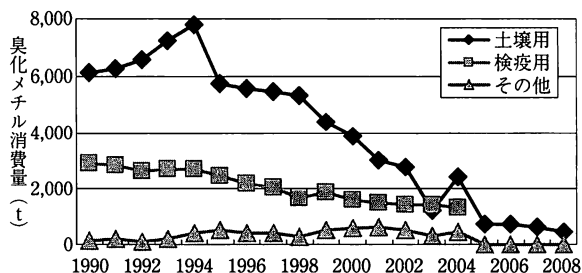


図-2 日本における臭化メチル消費量の推移
2005年以降は消費許容量、農林水産省植物防疫課の資料をもとに作成。

Present Situation of Methyl Bromide and Its Alternatives. By Kazufumi NISHI

(キーワード：臭化メチル，不可欠用途，モントリオール議定書，代替技術，土壤病害，土壤消毒，土壤くん蒸剤，物理的消毒法)

上を占め、他は収穫物や建造物、文化財などの処理となっている。土壌処理では、トマトとイチゴでの申請が多く、ついでピーマン・ナス類とウリ類である。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。

不可欠用途として認められるためには、①臭化メチルが使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技術がない、技術的にも経済的にも実行可能な技術がない、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、の5条件を満たす必要がある。

MBTOCの初期の審査では、代替技術の有無ということが大きな論点であった。この場合の代替技術というのは、臭化メチルに頼らない土壌消毒法だけにとどまらず、抵抗性品種・台木の活用や、土耕栽培から少量培地耕や養液栽培への移行などといった栽培法の変更なども含んだ広い意味での代替技術である。MBTOCの審査が3年目を迎えた2005年ごろからは、技術的・経済的に有効な代替技術が存在しないことを当然の前提として、臭化メチルの使用や大気中への放出量を最小限とするためにどのような努力が払われているかということが大きな論点となってきた。この傾向は、2006年の審査ではさらに強くなってきている。MBTOCは、不可欠用途臭化メチルの審査基準を定めており、そのなかで低透過性フィルム(LPBF)の使用、原則畦処理などと定めている。各国の申請はこの原則に従って査定されるが、カリ

フォルニア州ではLPBFの使用が禁止されているといった法的な制約の存在や、ハマスゲ類のように通常の薬量では防除困難な雑草の存在などの特殊事情を申し立ててこの基準の適用を免れることもできる。日本の申請では、土寄せなどの農作業上の特殊事情や、施設栽培では高い防除圧が必要とされることなどを申し立てることで畦処理の適用を免れている。

日本は、2003年から不可欠用途の申請を開始した。申請目的は、①クリ果実のクリシギゾウムシ対策、②ウリ類やトウガラシ類の土壌伝染性ウイルス病対策、③ショウガの根茎腐敗病対策である。審査過程では、ウイルスの土壌伝染性、ウイルス病対策は土壌消毒のみでなく、種子消毒、圃場衛生や抵抗性品種などの総合対策として取り組むべき、*Pythium* 菌には効果のある薬剤が存在する、などといったことが指摘された。また、LPBFの導入率が低いことに加え、LPBF使用のもとでの薬量削減が実施されていないとも指摘された。日本は、クリシギゾウムシと土壌伝染性ウイルスに対しては代替技術が存在しない防除困難な病害虫であることを強調し、根茎腐敗病については、低温期に処理しなければならないことや、200日間に及ぶ長い栽培期間に加えその後の貯蔵期間中の腐敗も防止する必要があるため高い防除圧をかける必要があること、栽培地が概して山間地に多くそこでは機械の導入が困難であることなどを説明し、経済的に導入可能な対策技術は存在しないと主張してきた。

その結果、これまでの日本の申請は、そのほとんどが不可欠用途に該当するとして認められてきた(表-1)。しかし近年の審査では、LPBFの導入により薬量の削減が可能であると評価されており、それに伴って申請量より削減された許容量となっている。特に2008年使用分の審査では、25%の削減となっている。MBTOCは、

表-1 日本の不可欠用途臭化メチル申請量と使用許容量

作物名	対象病害虫	2005年使用分		2006年使用分		2007年使用分		2008年使用分	
		申請量	承認量	申請量	承認量	申請量	承認量	申請量	勧告量
クリ	クリシギゾウムシ	7.1	7.1	6.8	6.8	6.5	6.5	6.3	6.3
キュウリ	緑斑モザイク病	88.3	88.3	88.8	88.8	72.4	72.4	68.6	51.45
ショウガ(露地)	根茎腐敗病	119.4	119.4	119.4	119.4	112.2	109.701	112.1	84.075
ショウガ(施設)	根茎腐敗病	22.9	22.9	22.9	22.9	14.8	14.471	14.8	11.1
メロン	モザイク病 えそ斑点病	194.1	194.1	203.9	203.9	182.2	182.2	182.2	136.65
スイカ	緑斑モザイク病	129.0	129.0	98.9	98.9	94.2	94.2	162.3	32.475
トウガラシ類	モザイク病	187.2	187.2	200.7	200.7	169.4	156.7	43.3	121.725
合計		748.0	748.0	741.4	741.4	651.7	636.172	589.6	443.775

単位：トン。

表-2 日本における低透過性フィルム (LPBF) の使用実態

申請作物	臭化メチルによる消毒面積 (ha)		LPBF の使用面積 (ha)		LPBF の使用率 (%)	
	2003 年	2004 年	2003 年	2004 年	2003 年	2004 年
キュウリ	321.3	345.8	24.4	29.8	7.6	8.6
ショウガ (露地)	500.5	690.4	0	0	0	0
ショウガ (施設)	370.2	115.3	0	0	0	0
スイカ	304.9	200.5	0	17.2	0	8.6
トウガラシ類	660.9	676.5	77.6	103.4	11.7	15.3
メロン	926.7	814.4	76.6	59.5	8.3	7.3
合計	3,084.5	2,842.9	178.6	209.9	5.8	7.4

2005 年および 2006 年の日本の不可欠用途申請書をもとに作成。

LPBF の導入により薬量を現行の 3 分の 2 に削減可能と判断している。25% 減というのは、2008 年には全申請面積の 60% に LPBF が導入され、そこでの薬量削減とその他の手段による消費量の削減で、申請量の 25% 減で対応可能と判断された結果である。日本での LPBF の使用実態は表-2 に示す通りで、ほとんど導入されておらず、またそこでの薬量削減も行われていないのが実状である。

各国からの申請は、前述の 5 条件に該当するかどうかに基づいて審査され、場合によっては質問状を発しその回答を待って MBTOC としての結論を下す。各国からの申請量に対し MOP が最終的に承認した使用許可量の比率の平均値は、2005 ~ 08 年使用分がそれぞれ 81, 91, 76, 88% となっている。なお EU は臭化メチル削減に特に積極的で、MOP が承認した 2005 年使用分については独自に査定して MOP の承認量からさらに 40% 近く削減した量を EU 全体の使用量の上限とし、2006 年使用分以降の申請では、加盟各国の申請希望量に対して独自の査定を加えて減量のうねオゾン事務局へ申請してきている。

II 臭化メチル代替技術の国際動向

臭化メチル代替技術は、日本と世界各国で特に大きな違いがあるわけではなく、代替農業、抵抗性品種・台木、物理的消毒法、栽培法の改善等に集約される。これらのうち、各国農業の伝統を反映して、日本では物理的消毒法の開発と導入に優れ、ヨーロッパ諸国では栽培法の改善に優れている。

代替農業には、各国とも大きな力を注いでいる。代替農業には二つのタイプがある。第 1 のタイプは、通常の土壌条件ではガスあるいは容易にガスに変換する物質である土壌くん蒸剤である。土壌くん蒸剤の処理では、有効成分を直接土壌中に注入するものと、土壌中の代謝過

程でくん蒸効果をもつガスを容易に生成する物質を利用するものがある。前者にはクロルピクリンや D-D が属し、後者には土壌中で容易にメチルイソチオシアネート (MITC) を生成するダゾメットやカーバム等が属する。第 2 のタイプは、ガス効果のない接触型の薬剤で、オキサミル、ホスチアゼート、カズサホス等が属する。新しい薬剤としては、ヨウ化メチルなどのヨウ素化合物、ジメチルジスルフィド、プロピレンオキサイド、アジ化ナトリウム等が検討されている。このうちヨウ化メチルの開発が最も進んでおり、アメリカでは試験研究用の使用が認められている。代替剤は、単独使用のみならず、他の薬剤や輪作、抵抗性品種、接ぎ木、太陽熱処理等の農業非依存技術と組み合わせる方向でも検討されている。

非農業的手法の中では、抵抗性品種の利用、あるいは抵抗性台木品種を活用した接ぎ木栽培が最有力手段として広く活用されている。抵抗性品種や台木の利用は、特にネコブセンチュウや *Fusarium* spp., *Verticillium* spp., *Phytophthora* spp. に対して有効なことが多い。新しいレースの出現によって、従来の抵抗性品種が無効となる場合もあるが、新しい品種の導入などで対応可能なことも多い。

物理的消毒法では、太陽熱消毒と蒸気消毒が中心である。コスタリカではメロン栽培地の 20% に太陽熱消毒が導入され、オランダの花き栽培では 50% で蒸気消毒が導入されている。熱水土壌消毒は、アメリカと韓国で試験が行われている段階である。土壌還元消毒はオランダで導入されつつあり、アメリカでも試験が開始された。日本ではほとんど検討されていない技術として、熱風を利用した土壌消毒法がある。

このほかの代替技術としては、biofumigation と呼ばれる土壌病害抑制機能をもつ植物のすきこみ処理、輪作、マルチ栽培、生物防除、およびこれらの技術を組み

合わせた総合防除が取り組まれている。

代替技術のもう一つの方向性は、土耕栽培から離脱して少量培地耕、養液栽培等に移行することである。施設栽培で普及しているが、トマト、イチゴ、花き、メロン、キュウリ等では露地栽培でも適用可能と考えられている。

III 日本における代替技術開発の現状

日本国内で開発や普及が進められている臭化メチル代替技術も、代替農業、抵抗性品種・台木、物理的消毒法、栽培法の改善という具合に諸外国と大きく異なることはない。しかし、物理的消毒法の開発と普及という点では優れており、他方、少量培地耕、養液栽培等といった栽培法の大幅な転換は、全体的に遅れているのが現状である。それでも、イチゴの高設栽培の普及などは世界をリードできる状態にある。

物理的消毒法の開発面では、日本は世界をリードしてきた。古くは太陽熱消毒の開発で先駆けとなったが、太陽熱消毒の改良という点でも、日本オリジナルの技術が生まれている。改良は、二つの方向に進んだ。第1は、太陽熱消毒を施肥や作畦の後に実施するもので、「宮崎方式」の太陽熱消毒と呼ばれる（本号14～17頁、白木氏）。太陽熱消毒で効果が不十分となりがちな土壌深部やハウスのサイド部の土壌が耕土層に混入することを防止できるため、防除効果の安定につながる。第2の方向は、消毒前にフスマや米ぬかといった分解されやすい有機物をすき込んでから太陽熱消毒に移行するもので、土壌還元消毒と呼ばれる（本号18～22頁、久保氏）。すきこんだ有機物を餌として土壌中で微生物が急激に増殖し、土壌が還元状態となる。また、土壌中に多量の有機酸が形成される。これらが相互に影響して、通常の太陽熱消毒では防除効果が発揮されない30～40℃といった温度域でも防除効果が認められるようになる。実施可能時期も広がり、岐阜県では6～10月でも実施可能であることが明らかとなっている。

日本オリジナルの物理的消毒法でもう一つ注目されているのは、熱水土壌消毒法である（本号23～28頁、北氏）。80～95℃の熱水を圃場に注入して地温を上げて土壌消毒を行うもので、透水性に恵まれた圃場の場合、防除効果は極めて安定している。加えて、作物の生育を齊一かつ促進する効果があり、施設栽培への導入が進められている。

このほかの日本オリジナルの物理的消毒法に、散水蒸気消毒がある（本号34～39頁、外側氏）。この方法は、通常の蒸気消毒を終えた後に圃場表面から散水するものである。散布された水は土壌表層部で熱水に変わり、地

下に浸透していく。蒸気消毒の有効範囲をより深い部分にまで広げる効果があり、実証と導入が始まっている。

化学的防除の面で日本オリジナルの技術となっているのが、ホスチアゼート剤の開発である。ガス効果をもたない接触型の薬剤で、定植前の土壌処理のほか、立毛中にも処理できる利点がある。このほかDCIP剤も、日本が開発した殺線虫剤である。

代替技術の開発が進んでいないのは、臭化メチルの不可欠用途申請を行っているウリ類やトウガラシ類の土壌伝染性ウイルス病、ショウガの根茎腐敗病対策である。

ウリ類の土壌伝染性ウイルス病のうち、メロンえそ斑点病については実用的な抵抗性品種が育成されており、有効薬剤の探索も行われている。しかし、抵抗性品種の果実価格は従来の品種の半額程度と、価格面での問題が克服されていない。有効薬剤では、薬害という問題点を抱えながらもヨウ化メチルの登録作業が進んでいる。他のウリ類の土壌伝染性ウイルス病に対する代替技術開発は、弱毒ウイルスなどが検討されているものの遅れている。ヨーロッパ諸国では、隔離ベッドなどを用いた少量培地栽培がウリ類、特にキュウリでは一般化している現状などから、MBTOCは日本に対し導入を検討するよう求めている。

ピーマンモザイク病では、抵抗性遺伝子 L^4 をもつ実用品種が育成された。しかしこの抵抗性遺伝子を侵す新しいウイルス系統の出現が確認されており、抵抗性遺伝子 L^4 をもつ実用品種の導入のみでは問題が解決しなくなっている。そこで圃場でのウイルス濃度を下げたためのクリーニングクロープ的な抵抗性遺伝子 L^4 をもつ品種の利用、弱毒ウイルスの利用、ピートモス成型ポットの利用や根を紙で包み込んだ状態での定植などでの移植時の感染防止、熱水土壌消毒や蒸気消毒による表層部土壌でのウイルスの不活化、有機質資材の添加による残渣腐熟促進、消毒液自動噴霧はさみの使用や罹病株の抜き取りなどの管理作業面の改善等、いくつもの手法を体系的に導入した対策技術が検討されている。

ショウガの根茎腐敗病に対しては、ダズメットやメタラキシルなど有効薬剤が登録されている。また熱水土壌消毒や地中加温消毒などの熱処理の効果も知られている。しかし、土壌消毒の実施時期が低温期であること、高い防除圧が要求されること、山間の傾斜地での栽培が多くそこでは機械が導入できないこと、メタラキシル剤に対する耐性菌が出現しているなどといったショウガ栽培の特殊性から、十分な代替技術の確立には至っていないのが現状である。

おわりに

先進国での臭化メチル消費が検疫用、緊急用および不可欠用途を除いて全廃されてほぼ2年が経過した。2015年からは、開発途上国も、検疫用、緊急用および不可欠用途を除いて全廃という規制段階に入る。臭化メチルの消費量は大幅に減少してきているとはいうものの、国際的にはもう一段規制を強化しようとしているところである。検討されているのは、検疫用臭化メチルの使用量削減、開発途上国の削減スケジュールの前倒し実施、それに不可欠用途臭化メチル消費量の圧縮である。

既に、世界189か国中の129か国が検疫用あるいは緊急用を除いて臭化メチルの全廃を達成しており、先進国では45か国中の16か国が臭化メチルの使用を継続しているに過ぎない。これらの国々は、国連環境計画オゾン事務局に対し、「不可欠用途臭化メチル国家管理計画」を提出しており、より一層の削減を約束している。なかでもEU諸国は、今後1～2年以内に不可欠用途の申請を

終了させたいとしている。また、ニュージーランドは2007年、オーストラリアは2010年までに申請を終了させる計画である。

日本政府は、国家管理計画の中で、不可欠と認められるものは今後とも申請を続けるが、特段のことがない限り前年の申請量を上回る申請は実施しないと約束し、2009年使用分についても申請する予定である。その一方、国内的には、いずれ全廃する方向で申請量の削減をしていきたい意向をもっている。不可欠用途そのものを廃止する時期は明確ではないが、開発途上国が不可欠用途申請を開始する2015年が一つの目途となると推測される。いずれにしろ、不可欠用途申請そのものの廃止が検討段階に入っている。

このような情勢の中で、今後の土壌病害対策に関する技術開発はますます重要かつ緊急を要する課題になっている。本特集号では6氏に最近注目されている土壌消毒法をご紹介していただいた。本特集号が技術の普及、また新しい技術開発に利用されることを願っている。

新しく登録された農薬 (18.12.1～12.31)

掲載は、種類名、登録番号：商品名（製造者又は輸入者）登録年月日、有効成分：含有量、対象作物：対象病害虫：使用時期等。ただし、除草剤・植物成長調整剤については、適用作物、適用雑草等を記載。（登録番号：21858～21864）下線付きは新規成分。

「殺菌剤」

●バチルス シンプレクス水和剤

21858：モミホープ水和剤（セントラル硝子）06/12/13
バチルス シンプレクス CGF 2856 株： 1×10^{10} CFU/g
稲：もみ枯細菌病、苗立枯細菌病：浸種前～催芽時、浸前

●イミノクタジン酢酸塩・チオファネートメチル水和剤

21860：ベフトップジンフロアブル（日本曹達）06/12/27
21862：日農ベフトップジンフロアブル（日本農薬）06/12/27
21863：クミアイベフトップジンフロアブル（クミアイ化学）06/12/27
イミノクタジン酢酸塩：15.7%，チオファネートメチル：26.2%

小麦：赤かび病：収穫14日前まで

みかん：貯蔵病害（青かび病、緑かび病、軸腐病）：収穫7日前まで

かんきつ（みかんを除く）：貯蔵病害（青かび病、緑かび病、軸腐病）：収穫7日前まで

「殺虫殺菌剤」

●エチプロール・カスガマイシン・フサライド粉剤

21861：ホクコーカスラブキラップ粉剤 DL（北興化学）06/12/27

エチプロール：0.50%，カスガマイシン：0.11%，フサライド：1.50%

稲：いもち病、ウンカ類、カメムシ類：収穫14日前まで

「除草剤」

●フェントラザミド・ベンゾフェナップ・ベンフレセート粒剤

21864：ホクコーバンチャー 1 キロ粒剤（北興化学）06/12/27

フェントラザミド：3.0%，ベンゾフェナップ：8.0%，ベンフレセート：5.0%

移植水稻：水田一年生雑草、マツバイ、ホタルイ、ウリカワ、ミズガヤツリ（北海道を除く）、ヘラオモダカ（北海道、東北）、クログワイ（北海道を除く）、ヒルムシロ、セリ（近畿・中国・四国）、アオミドロ・藻類による表層はく離（東北を除く）

「展着剤」

●展着剤

21859：レインコート（サンケイ化学）06/12/13

デカノイルオクタノイルグリセロール：90.0%

まつ：MEP剤に加用