原著：

臭化メチルを用いたハウス内の土壌薫蒸作業における職業曝露と健康影響に関する研究

甲 田 茂 樹*, 大 原 啓 志*

臭化メチルを用いたハウス内の土壌薫蒸作業に従事する農業者の臭化メチル曝露に伴う健康障害を予防するために、薫蒸作業前後の臭化メチルのモニタリングと個人曝露測定、薫蒸方法や保護具の使用、自覚症状等に関するアンケート調査を実施した。

ハウス内の環境モニタリング結果によると、ハウス開放時でも1,000ppmを超える極めて高い臭化メチル濃度が観測された。ハウス開放に従事した農業者への個人曝露測定結果では57ppmと25ppmと、許容濃度を遥かに超えていた。高知県内6地区の園芸農家で臭化メチルを用いた土壌薫蒸を行っている農業者164名のアンケート調査結果から、8割近くがハウス全面薫蒸方式を採用しており、行政の指導している使用量を遥かに超える臭化メチルを使用しており、9割以上が薫蒸後5日以内にハウスを開放していた。さらに、臭化メチル高濃度曝露を防ぐ防毒マスクや防除衣の着用を行っているものはわずかに10%程度であった。薫蒸作業後の自覚症状では、眼や呼吸器などの刺激症状を訴える農業者が2～6%程度認められた。

現状の臭化メチルを用いた薫蒸作業では短時間で高濃度の臭化メチルに農業者が曝露することが懸念された。臭化メチルによる健康障害を予防するためにも、臭化メチルの有害性や健康障害に関する教育や安全な使用量の徹底や作業方法の訓練等を実施することが重要である。

①臭化メチル ②土壌薫蒸 ③個人曝露 ④環境モニタリング ⑤施設園芸

I. は じ め に

臭化メチルは1987年のモントリオール議定書でオゾン層破壊物質として指定され、その生産と使用が2005年には必要最低限のものを除いて全廃する方向で現在検討されている化学物質である。わが国では園芸農業を中心として臭化メチルが土壌薫蒸剤として幅広く用いられており、1992年ないしは1993年の統計でみると米国、イタリアに次いで世界第三位の使用量となっている。

高知県は全産業に占める農業者の割合が高く、行政が把握している数値だけでみても基幹的農業従事者は約6万人に上り、勤労者に占める比率は約13%にあたる^{1,2)}。さらに、高知県では施設園芸が盛んであるため、ハウスでの土壌薫蒸剤として臭化メチルを使用する頻度が多い。国内の臭化メチルの生産量に対する高知県への出荷量をみても、毎年約13～14%を推移し、高知県での臭化メチルの需要がいかに多いかがわかる。

臭化メチルは、わが国の労働安全衛生法体系（主には特定化学物質等障害予防規則）の中で規制されている有害化学物質であり、産業保健学上の配慮が必要な化学物質である^{3～7)}。ここ

* 〒783-8505 高知県南国市岡豊町小蓮
高知医科大学公衆衛生学教室
(受付：1999年2月8日)

表1. 臭化メチルに関する許容濃度について

ACGIH*1	1ppm (TLV-TWA*2)
NIOSH*3	reduced exposure to lowest feasible concentration as Carcinogens
	IDLH*4 250ppm
OSHA*5	20ppm (C*6, skin)

*1: American Conference of Governmental Industrial Hygienists

ACGIH は1997年に許容濃度を5ppm から1ppm へ改正

*2: 8 時間時間加重平均の許容濃度

*3: National Institute for Occupational Safety and Health

*4: immediately dangerous for life and health concentration

*5: 米国労働安全衛生法

*6: 天井値としての許容濃度

数年、高知県でも臭化メチル中毒の事例が報告されており、農業の現場における臭化メチル使用状況や健康影響について検討する必要性が指摘されてきた。産業保健における臭化メチルの規制については、管理濃度が5 ppm と決められており^{3,8)}、個人曝露の際の許容濃度については表1に示したような基準が国際的に提案されている^{9,10)}。

本研究では、高知県内の園芸農家の協力を得て、臭化メチル使用状況の実態を把握し、作業形態や使用濃度、使用量と個人曝露の程度を検討することで、臭化メチルへの高濃度曝露による健康障害を防ぐための基礎資料を得たいと考えた。このことは、産業保健学的にも、環境保健学的にも、極めて重要な資料を提示してくれるものと考えた。

II. 研究対象及び方法

高知県の園芸農家における臭化メチル使用状況の実態を把握し、作業形態や使用濃度、使用量と個人曝露の程度を検討するために、高知県内で頻繁に行われている薫蒸方法であるハウス内全面薫蒸に注目し、ハウス内の気中臭化メチル濃度のモニタリングと薫蒸作業前後での農業者への個人曝露濃度の測定を1996年9月に実施した。なお、今回の環境モニタリング及び個人

曝露測定に協力してもらった園芸農家の薫蒸作業に用いられた臭化メチルの使用量は10アール当たり約45kgである。

臭化メチルの環境モニタリングは、赤外線を用いた光音響方式による定量ガス分析装置 (Bruel & Kjaer 社製マルチガスモニタ1302及び1303型) と臭化メチル専用光学フィルター (UA-0987型)、専用アプリケーションソフト (7620型) を搭載したコンピュータによって実施した。今回の測定では、ハウス外にシステムを設置し、約50mの長さのテフロンチューブを用いてハウス内の測定点 (立位呼吸域である1.5mと座位呼吸域の0.5mの2点) より約140mlの気体試料を採取し、光音響方式を用いて臭化メチルの気中濃度を測定することで、環境モニタリングを実施した。なお、サンプリングの間隔は1時間毎と設定した。今回のシステムの測定制度の校正にあたっては、純窒素を用いたゼロ点校正と臭化メチルのある濃度近辺での1点校正を実施した。その結果、測定精度としては0.2~2,000ppmまでは直線的な関係が保たれていると考えて良い。一点校正には、2.29ppmの臭化メチルを用いて校正を行った。なお、測定に際しては水蒸気の補正を常時行った上で、環境モニタリングを実施した。

臭化メチルの個人曝露測定については、活性

炭管 (SKC 製, 第1層100mg, 第2層50mg) を農業者の襟に装着し, 携帯用吸引ポンプ (Dupont 製, ALPHA 2) で呼吸域の臭化メチルを吸引捕集 (100ml/min) し, 二硫化炭素 2ml で脱着した後にガスクロマトグラフ (Hewlett Packard 製, HP-5980, シリーズ II) によって分析した。カラムは DB-1 (J&W 製, 内径0.58mm, 長さ30m) を用い, カラム温度, 注入口温度及び検出器温度はそれぞれ 40℃, 150℃, 200℃とし, キャリヤーガスにはヘリウム (12ml/min), 検出器には FID を用いた。個人曝露測定は, 臭化メチルへの曝露を考慮し, 臭化メチルを散布する時, 薫蒸後にハウスを開放する時, ハウス開放の翌日にハウス内に入って行うパイプ配管作業の三つの作業に注目して実施した。

次に, 高知県内の園芸農家の臭化メチル薫蒸の実態を把握し, 臭化メチル曝露に伴う健康影響などについて検討するために, ハウス園芸を行っている県内 6 地区の農家から, 臭化メチルによる薫蒸作業を行っている農業者に協力してもらい, 地区の農業改良普及センターの生活改良普及員を通じて, 留置法にてアンケート調査を実施した。ただし, この対象者はランダムサンプリングによるものではない。調査項目には, 臭化メチル薫蒸方法, 使用量, 防御方法,

薫蒸後数日の自覚症状に関する項目を採用した。なお, アンケート調査の実施は, 臭化メチルによる土壌薫蒸が概ね完了する1996年の夏から秋の時期にかけて行い, 調査票の集計及び解析は SPSS 8.0 J for Windows を用いて行った。

Ⅲ. 研究結果

1. ハウス全面薫蒸作業時の臭化メチルの環境モニタリングと個人曝露について

ハウス内の全面薫蒸に伴う臭化メチルの気中濃度の推移をモニタリングした結果を図1 (臭化メチル濃度は対数変換済み) に示した。臭化メチルは空気よりその比重が重いため, 臭化メチルを散布して数時間の間は座位の方が高く, 5,000ppm を超えていたが, しばらくすると2,200~2,300ppm のレベルに推移し, その後は測定点の高低によらず両者はほぼ同じ値を示すようになった。その後はハウス開放までゆっくりと減少していき, ハウス開放時には1,100~1,200ppm 前後となっていた。ハウス開放後に一挙に低下した臭化メチル濃度も一端200ppm まで再上昇しており, その後にゆっくりと減少していった。

農業者の個人曝露について測定した結果を表2に示したが, 臭化メチル散布時には直接散布

図1. ハウス内の臭化メチル濃度の環境モニタリング
(ハウス内全面薫蒸, 臭化メチル濃度は対数変換済み)

表 2. 臭化メチルの個人曝露測定結果について

臭化メチル散布時	A氏夫	0.1ppm 以下	A氏妻	0.1ppm 以下
	B氏夫	0.1ppm 以下	B氏妻	0.1ppm 以下
ハウス解放時	A氏夫	57ppm	A氏妻	0.1ppm 以下
	B氏夫	25ppm	B氏妻	0.1ppm 以下
パイプ配管時 (午前・午後各々)	A氏夫	0.1ppm 以下	A氏妻	0.1ppm 以下
	B氏夫	0.1ppm 以下	B氏妻	0.1ppm 以下

作業に携わった夫2名とハウスの外で待機していた妻2名(合計4名)の個人曝露濃度はいずれも0.1ppm以下であった。ハウス開放作業自体は約20分程度で終了するが、直接ハウスの開放作業に携わった夫2名については57ppmと25ppmの臭化メチルに曝露していた。ハウス開放の翌日のパイプの配管作業時の個人曝露はいずれも0.1ppm以下であった。ハウス内の環境モニタリングで観察する限りにおいては、空气中に臭化メチルが数十ppm存在していたが、個人曝露測定では検出できなかった。

2. 臭化メチル薫蒸農家に対するアンケート調査結果について

高知県内6地区の農業改良普及センターの生活改良普及員を通じてアンケート調査できたものは全員で165名であり、このうち、性別が明らかで調査年度に薫蒸作業を実施した162名を分析対象とした。分析対象とした162名の性別の内訳は男性134(82.7%)、女性28(17.3%)であり、平均年齢は47.0歳(標準偏差10.6歳)であった。

臭化メチル薫蒸作業に関する回答を表3にまとめたが、全面薫蒸を採用しているものが8割近くを占め、その使用量は、全面薫蒸及びマルチで10アールあたり40kg前後であったが、併用した4事例はかなりの使用量となっていた。薫蒸後のハウス開放までの日数をみると、全体の90%以上が5日以内に開放しており、その平均日数は全面薫蒸で約3.5日、マルチ薫蒸で5.4日と両者に違いを認めた。保護具の使用状況についてみていくと、もっとも高い比率が帽子であり、ついで手袋や長靴などの一般的な

ハウス園芸で用いられるものであり、臭化メチルに対する効果的な保護具である防除衣や防毒マスクの使用状況はきわめて低かった。

薫蒸作業後の自覚症状の有無についてみると、物忘れがあるが最も高くなっていたが、眼がしみるとか気分が悪くなる、吐き気がする、咳がでるなどの急性曝露の症状が2~6%程度あり、薫蒸作業時に高い濃度の臭化メチルを一時的に曝露した可能性が示唆された。また、アンケートに回答した者のうちで「眼がしみる」「めまいがする」「気分が悪くなる」「吐き気がする」「咳がでる」などを訴える70歳をこえる高齢の農業者が1名認められた。この作業者は10アールあたりの臭化メチルの使用量は回答者の平均の3倍近くに達し、明らかに臭化メチルの過剰使用であり、薫蒸方法にも問題のあることが推測された。

薫蒸作業と健康影響に関する農業者の意識を調査したところ、薫蒸作業は健康に悪影響を与えているといつも考えている者が6名(3.6%)、時々を含めると26名(15.8%)であり、過去の薫蒸作業後に体調を崩して医療機関を受診した者も1名存在していた。

IV. 考 察

今回のハウス内の臭化メチルの環境モニタリング結果から、ハウス内の臭化メチル濃度は3日目で1,000ppm程度はあるために、早い時期でのハウス開放は農業者に高濃度の臭化メチル曝露をもたらす可能性がある。今回の個人曝露測定結果でもハウス開放にあたった農業者は各々57ppmと25ppmの臭化メチルに曝露して

表 3. アンケート調査結果について (n=162)

臭化メチル薫蒸歴	17.4±10.2年	
臭化メチル薫蒸方法及び使用量 (10アール当たり使用量)		
全面薫蒸	128 (79.0%)	38.3±15.8 kg/10a
マルチ薫蒸	30 (18.5)	47.0±73.8
両方	4 (2.5)	49.6±8.7
薫蒸後、ハウス開放までの日数	1－2日	3 (1.9%)
	3日	87 (53.7)
	4日	46 (28.4)
	5日	13 (8.0)
	6－7日	10 (6.2)
	8－14日	3 (1.9)
	30日	1 (0.6)
ハウス開放までの平均日数	全面薫蒸	3.5±0.8日
	マルチ薫蒸	5.4±2.4
	両方	3.5±0.5
保護具の使用について	防除衣	6 (3.7%)
	帽子	67 (41.4)
	長靴	28 (17.3)
	防毒マスク	21 (13.0)
	手袋	29 (17.9)
薫蒸後数日の自覚症状の有無		
眼がしみる	9 (5.6%)	物忘れがある 18 (11.1%)
めまいがする	1 (0.6)	耳鳴り、聞こえにくい 6 (3.7)
気分が悪くなる	8 (4.9)	腹痛がする 4 (2.5)
吐き気がする	4 (2.5)	下痢をする 6 (3.7)
咳がでる	5 (3.1)	気が滅入る 6 (3.7)
手足がしびれる	4 (2.5)	歩きづらい 3 (1.9)
言葉が話しづらい	4 (2.5)	
薫蒸作業と健康への不安	いつも/いつも＋時々	6/26 (3.6/15.8%)
過去に薫蒸後に体調を崩して医療機関受診経験あり		1 (0.6%)

おり、ACGIHの許容濃度である1ppmを遥かに超え、OSHAの天井値としての許容濃度20ppmも超えていることがわかった。作業方法によっても異なるが、ハウス開放が早い時期で、空気のおおりを直接受けた場合には、NIOSHのIDLHである250ppmさえも超える可能性がある。高知県は臭化メチル薫蒸後は1週間から10日はハウスを開放しないようにと指

導しているとのことであったが、現場ではそれよりも早い時期にハウスを開放しており、その際、有効な保護具の着用状況も悪く、課題が残った。臭化メチルによる急性中毒事例¹¹⁻¹⁵⁾は今までにも数多く報告されてきたが、農業者が依然として今回のようなやり方で薫蒸作業を行う限り、急性曝露に伴う中毒事例が発生する可能性はあると考える。日本薫蒸技術協会などが

安全な薫蒸方法のしおり¹⁶⁾を配布しているが、現場ではあまりいかされていないようである。

今回のアンケート調査から、農業者が実際に使用している臭化メチルの使用量は行政の指導している範囲内（10アール当たり20～30kg）を遥かに超えていた。臭化メチルが有害化学物質である以上、適切な使用量で薫蒸作業が行われるべきである。農業者の健康障害を予防するという産業保健の立場からいえば、使用する臭化メチルの量が減れば、気中濃度も減少するはずであり、当然のこととして、個人曝露量も減少する。

ハウス開放翌日のパイプ配管作業時に数十ppmの臭化メチルが環境モニタリングで観測されたが、その際の個人曝露測定では臭化メチルを確認できなかった。これは、今回用いた環境モニタリングのシステムが臭化メチルのメチル基に注目して分析しているため、ハウス開放後には土中で臭化メチルが微生物等の作用で化学反応して、メチル基を有する化学物質を気中に放出しているためと考える。しかし、翌日の作業で土に触れる農業者が皮膚から臭化メチルを吸収する危険性がまだ残されており、今後の検討課題として残った。

臭化メチルの毒性は急性影響として呼吸器や粘膜の刺激症状を中心として頭痛、めまい、悪心、嘔吐、昏睡、痙攣、歩行失調、慢性影響として下肢の異常感覚や失調性歩行など多彩な精神神経症状などがよく知られている^{7, 17, 18)}。今回のアンケート調査での有訴状況を見ても、眼や呼吸器への刺激症状を訴えるものが数%存在しており、臭化メチルの一時的な曝露による影響が伺える。その他、歩きづらいや手足が痺れる、言葉が話しづらいなどの神経症状を訴えるものも2%程度観察された。これらの神経症状が臭化メチル曝露に伴う慢性症状なのか、加齢現象ないしは他疾患によるものなのかは今回明らかにしえなかった。農業者が高齢である場合には、臭化メチル曝露に伴うものであることを自覚しないケースがあるといわれており、今後の検討課題として残った。

より安全な薫蒸作業を行うための対策とし

て、まず、農業者に対して、臭化メチルの安全な扱い方法、毒性などの教育、急性曝露時の処置などを十分に周知した上で、単位面積当たりの必要最低限度の使用量及びハウス開放のやり方、保護具の着用など適切な薫蒸方法を行うように心がけるべきである。当面は、行政ないしは農協等の販売者がこれらの指導にあたるべきであろう。今後、より安全な方法であると考えられているマルチ薫蒸方法についても、環境モニタリングや個人曝露測定などを検討し、より安全な薫蒸方法が農業者に提供されるべきであろう。さらには、臭化メチルがオゾン層破壊物質として全廃される方向で検討されていることを考慮すると、長期的には、臭化メチルに代わる安全な代替化学物質が開発され、現場に提供されることが環境保健の立場からみても理想的である。

V. ま と め

高知県は農業県であり、園芸農業が活発であるため、臭化メチルを用いた薫蒸作業は日常的に行われてきた。その意味では、農業者は臭化メチルを過去数十年間取り扱ってきた経緯があり、安全に対する警戒心の薄れなどから、現場での薫蒸作業には過剰な臭化メチルの使用や有効な保護具の未着用などの多くの問題点が認められた。現状の薫蒸作業では、短時間で高濃度の臭化メチルに曝露する危険性があるため、農業者への安全な作業方法を周知徹底する必要がある。

謝 辞

本研究は平成9年度臭化メチル等の環境挙動の把握と削減・代替技術に関する研究（環境庁）の一環として実施されたものである。また、今回の調査研究を行うにあたり、アンケート調査項目に適切なご助言を頂いた、原一郎（前関西医科大学教授）先生と、臭化メチルの個人曝露測定に協力して頂いた、熊谷信二（大阪府立公衆衛生研究所労働衛生部）先生に深謝いたします。

文 献

- 1) 高知県農林水産部。高知県の園芸。高知：高知県、1993。
- 2) 総務庁統計局。事業所統計報告、第2巻都道府県

- 編, その39 高知県. 東京: 総務庁統計局, 1992; 78—89.
- 3) 労働省安全衛生部労働衛生課編. 新衛生管理—法令編 (第1種用). 東京: 中央労働災害防止協会, 1997: 206—230.
- 4) 労働省安全衛生部労働衛生課編. 特定化学物質等作業主任者テキスト. 東京: 中央労働災害防止協会, 1997: 53—55.
- 5) 和田 功編. 産業保健マニュアル (第3版). 東京: 南山堂, 1995; 210.
- 6) 宮野美宏. 7.2.5法規などに基づく特殊健康診断, 現代労働衛生ハンドブック (三浦豊彦ら編). 川崎: 労働科学研究所, 1988; 1070—1100.
- 7) 産業医学振興財団. 化学物質による中毒—ガス中毒一. 東京: 産業医学振興財団, 1991; 40—50.
- 8) 労働省安全衛生部労働衛生課編. 新衛生管理—管理編 (第1種用). 東京: 中央労働災害防止協会, 1997; 104—143.
- 9) ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). 1998 TLVs and BEIs. Cincinnati: ACGIH, 1998.
- 10) CDC (Centers for Diseases Control and Prevention). NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards. (DHHS Publication No. 94-116). Cincinnati: NIOSH, 1994.
- 11) 荒記俊一, 阿部 彰, 牛尾耕一, 他. メチルブロマイド中毒例の臨床的研究 (第1報). 日災医誌 1970; 18: 447—457.
- 12) Araki S, Ushio K, Abe A, et al. Methyl bromide poisoning: A proposal for a new clinical classification and the results of its application to fifty-seven cases so far reported in Japan. 産業医学 1971; 13: 419—425.
- 13) 佐藤重仁, 渡辺 徹, 仲田充雄, 他. 急性臭化メチル中毒. 救急医学 1980; 4: 1673—1679.
- 14) 西岡和恵, 浜中すみ子, 藤田英輔. 土壌熏蒸剤 (臭化メチル) による化学熱傷の1例. 皮膚 1982; 19: 247—248.
- 15) 石津澄子, 長尾憲樹, 山野優子, 他. 臭化メチル中毒の5例について. 労働科学 1988; 64(2): 72—80.
- 16) 石津澄子編. 臭化メチル中毒—中毒の予防と管理. 東京: 日本熏蒸技術協会, 1988.
- 17) 若月俊一. 20.1.4健康障害. 現代労働衛生ハンドブック (三浦豊彦ら編). 川崎: 労働科学研究所, 1988; 1525—1531.
- 18) 荒記俊一, 横山和仁. E. 1. 臭化メチル, 臨床中毒 (井村裕夫ら編). 東京: 中山書店, 1994; 187—190.

A Study on Risk Assessments of Soil Fumigation with Methyl Bromide in Greenhouses

Shigeki KODA* and Hiroshi OHARA*

In order to protect farmers from health hazards posed by soil fumigation with methyl bromide in greenhouses, the authors monitored the concentrations of the fumigant inside greenhouses, before and after fumigation and measured occupational exposures. In the meantime, a questionnaire survey was conducted to find out the facts about working conditions, health effects and personal protective equipment in 1996.

As environmental concentrations of methyl bromide decreased from 2200ppm to 1100ppm gradually in three days, two farmers were exposed to 57ppm and 25ppm, in opening up the greenhouses, respectively, which are above ACGIH's TLV-TWA (1ppm) and OSHA's PEL-C (20ppm). The questionnaire survey (n = 164) found that about 80% of the respondents have fumigated inside the whole greenhouse without mulch, above 90% have opened up greenhouses within 5 days, and that only 10% have worn effective gas masks and clothes. Regarding subjective symptoms after fumigation, 2%~6% of respondents complained about eye and respiratory tract irritation.

These results suggest that farmers might be exposed to high concentrations of methyl bromide in opening up greenhouses. In order to prevent health hazards of methyl bromide, education programs on toxic information and health effects of methyl bromide, and safety training in soil fumigation should be provided to farmers.

* *Department of Public Health, Kochi Medical School*