

酢酸フェニル水銀を添加した水田土壌からの水銀の揮散

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者	小島, 懲 藤本, 弘 虎谷, 博一
巻/号	50巻6号
掲載ページ	p. 529-534
発行年月	1979年12月

酢酸フェニル水銀を添加した水田土壌からの水銀の揮散*

小島 懋**・藤本 弘***・虎谷博一***

さきに、イネ生育下の水耕液に加えた酢酸フェニル水銀 (PMA) が、根圏に共棲している微生物によって金属水銀蒸気に還元されて揮散することを報告したり。

今回は水田土壌に添加した PMA からの水銀の揮散が土壌の処理条件の差異や PMA を繰り返し添加することによってどのように変るかを調べた。

さらに PMA を加えた水耕液、水田土壌や田面水から分離した微生物による PMA 水銀の揮散を調べた。

1. 実験方法

1) イネの土耕栽培と PMA¹⁾の添加

内径 12 cm, 高さ 6 cm のホーロー引きポットに水田生土 (大阪府堺市新家町, 加水ハロイサイト系粘土鉱物を主とする埴質洪積土壌) 350g (風乾土 298g に相当) ずつを秤取, 湛水状態とし, イネ (コシヒカリ) の種子をまいた。42 日後 1 ポット当たり 25 本に間引き PMA を加え, 1) 田面水添加区 (土をかきまぜないようにピペットで田面水に加えた), 2) 土中添加区 (ピペットの先端を土中 4 cm まで入れて 2ヶ所に注入) と, 3) 対象区 (裸地田面水添加) の 3 区を設けた。添加 PMA 量はいずれも水銀として 500 μg としたが, この量は通常の散布量の約 10 倍に相当する。また, 全量が田面水中に存在すると仮定すると 田面水中水銀濃度は約 2 ppm となる。これらのポットをウィットのろ過ビン内に納め, ゴムせんをして器内に発生した水銀蒸気を既報のように捕集液に吸収させ, 24 時間ごとに捕集液を交換して 5 日間, 揮散する水銀を測定したり。実験はいずれも 2 連で実施した。

2) PMA を添加した水田土壌表面からの水銀の揮散

イネの生育している水田に PMA 粉剤を散布した場合, 茎葉に付着する量はわずかで, 90% 以上は地上に落ちると考えられている。この場合, 水田面の湛水または落水などの状態の違いによって揮散に差がないか, また実際には年間 2~5 回の散布がなされていたので, この繰り返し散布の影響が揮散にどのように現われるかを確かめた。

供試土壌として田植え後湛水状態にあった前記水田の表土 (5~7 cm) を採取した。この生土をよくこね合せ, 上澄液を傾斜除去した 後ただちに 200 g (風乾土 130 g 相当) ずつを秤取し, 砂ロートを用いて第 1 図に示したような 300 ml 容三角フラスコに入れた。そして, 第 1 回目の PMA 添加時の土壌の状態を次の 6 区に分けた。

① 100 ml の純水を加えて 湛水後翌朝水面に PMA を添加

② 落水状態の土壌表面に PMA を添加後, 翌朝湛水

③ 落水状態の表層土約 5 mm に PMA を混合, 翌朝湛水

④ 中干し土壌 (送風乾燥機で土壌にヒビ割れができるまで中干し, 水分含量 28% 減とした) を湛水し水面に PMA 添加

⑤ 中干し土壌の表面に PMA を添加, 翌朝湛水

⑥ 中干し土壌の表土と PMA を混合, 翌朝湛水

添加した PMA の濃度は水銀として 10 μg と 200 μg の 2 段階とした。各区から揮散する水銀を 1 日に 1 度ずつ, 10 日間にわたって測定した。10 μg 水銀添加シリーズについて第 2 回目以後, 10 μg PMA 水銀の繰り返し添加実験を行なった。第 2 回目の添加は各区 10 μg PMA 水銀をすべて田面水中に添加し, 5 日間揮散水銀を測定後 26 日間放置 (この間測定は行なわず), 第 3 回目の添加を行なった。この時の揮散水銀の測定は 7 日間行ない, さらに 36 日間放置後第 4 回目の PMA 添加をし, 5 日間揮散水銀を測定した。温度条件は第 3 回目の実験終了時まで日中 (6 時~20 時) 25°C, 夜間 14°C とし, 第 4 回目は日中 30°C, 夜間 24°C に昇温した。200 μg 水銀シリーズについては繰り返し添加実験は行なわなかった。

3) 菌の分離および分離菌による水銀の揮散

PMA を加えてイネや大麦を栽培したあとの水耕液や, PMA を加えて水銀蒸気の揮散を調べたあとの水田土壌や田面水から, 寒天培養法によりコロニー特性の異なる 29 株の菌を分離した。これらの菌を用いて PMA 水銀の揮散を調べた。まず, 分離した菌体をさらに増殖させるため, ブイヨン液体培地に移し 30°C で 4~5 日間培養したのち, 10,000 rpm で菌体を遠心分離し, 別に乾熱滅菌済みの 300 ml 容三角フラスコ (第 1 図) に純水 99 ml を用いて移した。これに各種濃度の PMA 溶液各 1 ml を加え, フラスコ内の水銀濃度が最終的に 0.05~

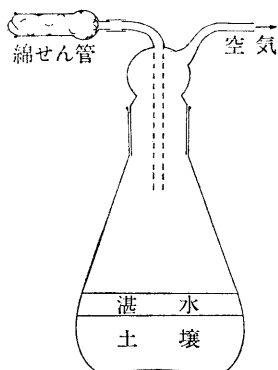
* 本報の要旨は昭和 53 年 4 月の土肥学会で報告した。

** 大阪府立放射線中央研究所 (現在, 高知県立農業大学校 高知県吾川郡伊野町波川)

*** 大阪府立放射線中央研究所 (堺市新家町 704)

昭和 54 年 6 月 25 日受理

日本土壌肥科学雑誌 第 50 巻 第 6 号 p. 529~534 (1979)



第1図 PMA を加えた水田土壌からの揮散水銀捕集フラスコ

15ppm 水銀となるようにした。フラスコは光が入らないように黒色ビニールで覆い、日中温度 25°C、夜間 14°C の人工気象室内にて 24 時間ごとに揮散水銀を捕集、測定した。

2. 結果および考察

1) 水田状態ポットからの水銀の揮散

水田状態土壌に添加した PMA からの水銀の揮散の有様を添加方法の別、イネ生育の有無について比較した。揮散水銀量を 5 日間にわたって追跡した後、イネの地上部を刈り取り、湿式分解してその水銀含量を測定した。第 1 表にはこれらの結果を添加水銀量に対する % 値で示した。

この結果をみると、PMA の添加法の差異やイネ生育の有無により、PMA からの水銀の揮散は明らかに影響を受けている。すなわち、イネ生育下での揮散を田面水添加区と土中添加区と比較すると、揮散量は明らかに土中添加区において小さく、5 日後でも添加量のわずか 0.1% にすぎなかった。また、土中添加区イネ茎葉中の水銀量も 0.26% と非常に少なかった。これらの結果は PMA 由来の水銀が土壌中では比較的短時間で揮散しにくい形態となること、また、この形態では根によっても吸われにくいことを示すものと考えられた。AOMINE ら²⁾ は PMA が粘土鉱物によって吸収されることを明らかにしているが、このような PMA が無機化された場合も、

第1表 PMA を加えた水田状態ポットからの水銀の揮散 (添加水銀量に対する累積%)

イネ生育の有無	PMA 施用位置	経過日数					イネ茎葉中の水銀量 (%)
		1	2	3	4	5	
1. 有り	田面水	0.85	5.60	6.58	6.76	6.87	9.13
2. 有り	土壌中	0.02	0.07	0.09	0.10	0.11	0.26
3. 無し	田面水	0.39	11.45	15.67	16.46	16.75	—

生成した 2 価水銀イオンはさらに粘土鉱物や下村ら³⁾ のように水酸化鉄によって吸着され、土中に添加された PMA に由来する水銀が気相にまで出てくる機会は非常に少なくなるものと思われる。ところが、イネ生育田面水添加区からの揮散率は 6.9% であり、液相で無機化された水銀は比較的容易に気相にまで出てくることがわかる⁴⁾。

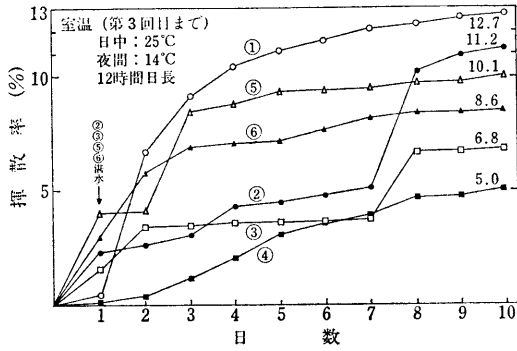
一方、同じ田面水に添加した場合でもイネの生育の有無によって、捕集される揮散水銀量は著しく異なり、イネの生育のない場合は 16.75% が捕集された。この値とイネ生育区の捕集水銀量 6.87% との差 9.88% は、同じ区のイネ茎葉中の水銀量 9.13% と実験誤差の範囲でよく一致している。このことは田面から揮散した金属水銀蒸気の大部分が茎葉に接したとき気孔などから容易にとりこまれることを示すものと考えられた。

別の実験であるが、既報の実験装置¹⁾ を使い、水耕栽培したイネの茎葉部をガラス円筒で覆い、この系内に塩化第一水銀を還元気化して発生させた水銀蒸気を 3mg/m³ または 77mg/m³ の濃度で含む空気を 10 分間循環させてイネ茎葉と接触させたところ、いずれの水銀濃度の空気からも 99% 以上の水銀がイネ茎葉に取込まれていた。この取込まれた水銀の一部はその後、時期、量ともきわめて不規則に茎葉や根から排出する現象が認められた。このことから、水銀農業散布当時のイネが水銀を吸収する様式としては、茎葉への散布による直接茎葉部からの吸収、根からの吸収とそのほかに、田面からの揮散水銀蒸気の茎葉からの吸収が考えられるが、なかでも第三の様式による吸収が多かった可能性が大であると思われる。

2) 水田土壌表面に添加した PMA からの水銀の揮散

10μg 水銀の繰り返し添加：水銀農業施用当時 1 回の施用量は 10a 当たり水銀として 4g であったといわれている。この場合田面水深を 3cm とすると田面水中の濃度は 0.13ppm 水銀となる。本実験では 1 回の添加量を 5ppm 水銀 PMA 溶液 2ml としたから、灌水時に加えた純水 100ml 中では 0.1ppm 水銀となる。また、この量はフラスコ内土壌表面積 26.4cm² から換算すると、10a 当たり 3.8g 水銀に相当する。

第 2 図は第 1 回目の PMA 添加後 10 日間の揮散水銀量の推移を示したものである。① 水分飽和土壌に純水 100ml を加えて灌水、翌朝 PMA を添加した区では 2 日目に揮散のピークがみられ、4 日目以後はしだいに少なくなった。10 日間の総揮散率は添加水銀量の 12.7% であった。②、③区では始めの 1~2 日目の揮散が多く、中休みをした後 8 日目に揮散のピークがみられ、総揮散

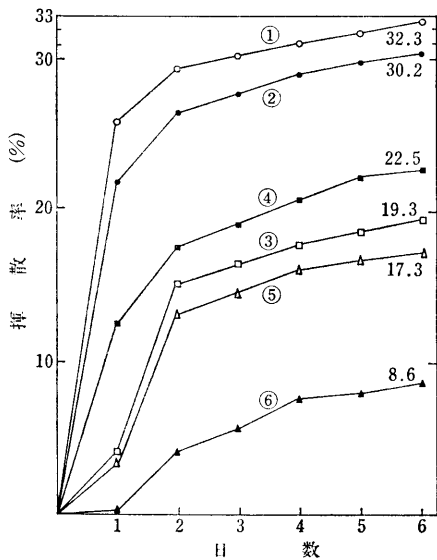


第2図 PMA を加えた水田土壌からの水銀の揮散
— 添加第1回目 (水分飽和土壌 200g 当たり
10 μ g 水銀 PMA を添加)

率はそれぞれ 11.2%, 6.8% であった。④中干し土壌の湛水区では全期間にわたって急激な揮散はみられず、総揮散率 5.0% と全区のなかで最低であった。⑤中干し土壌表面添加区では3日目までの揮散が多く、その後の増加は少なかったが総揮散率は 10.1% で3番目となった。⑥区、中干し土壌表層と混合した場合、⑤区とはほぼ類似の推移をたどり総揮散率 8.6% となった。

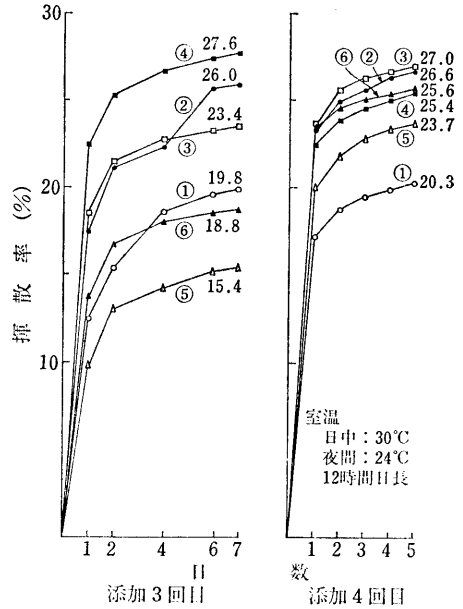
以上のように、添加時の土壌との混合状態や水分条件の違いによって水銀の揮散経過は一樣でないが、全体として 5~12% の揮散がみられた。

つぎに、第1回目の添加から 11 日目に第2回目の



第3図 PMA を加えた水田土壌からの水銀の揮散
— 添加第2回目

第2図の実験の 11 日目に田面水に、さらに 10 μ g 水銀 PMA を添加、この 10 μ g 水銀に対する揮散率を示した。以下3回、4回目も同じ。



第4図 PMA を加えた水田土壌からの水銀の揮散

PMA 添加を行なった。第2回目以後の水銀の揮散率は、前回添加の PMA からの水銀揮散量がきわめて少なくなっているのをこれを無視し、新たに加えた PMA 水銀に対する揮散率で示した。その揮散の様子を第3図に示した。すべての区で PMA 添加後 1~2 日目に最高の揮散がみられ、6 日間の総揮散率は④区 32.3% から⑥区の 8.6% まで全体として添加1回目の 10 日間の総揮散率より上っている。この増加は1回目に添加した PMA の残留の影響とは考えにくい。おそらく第1回目 PMA 添加後の 10 日間に水銀還元力の強い PMA 耐性菌が増加したものであろう。

第4図にみられるように、第3回目の PMA 添加では最高水銀揮散が、すべての区で1日目に現われ、7 日間の総揮散率は 27.6~15.4% となり、最高値は小さくなり、最低値は上昇する結果となった。

第4回目の添加時に室温を高くしたが、第3回目の添加実験と同様第1日目の揮散量が最大となった。そして、5 日間の総揮散率は 27.0~20.3% となり各区の較差が小さくなった。これは温度を高くしたことと PMA の繰り返し添加によって PMA 耐性菌の増殖が区別なく平均化される傾向を示したものと思われる。第1回目から第4回目までの各回について、全6区の5日間の平均揮散率を比較してみると(第2表)、第1回目と第2回目の間には大きな差があるが、2回目と3回目の間には増加がみられず、第4回目で再び増加している。この4回目の増加は温度の影響とみられる。

第 2 表 PMA の繰り返し添加に伴う揮散水銀量の増加 (6 区の平均値)

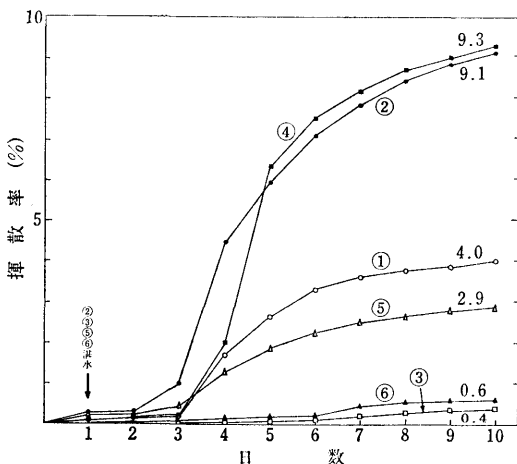
添加水銀量	10 μ g の繰り返し添加*				
	1	1	2	3	4 回目
繰り返し回数	1	1	2	3	4 回目
添加ごと 5 日間 の揮散量・率	5.8 2.9	0.65 6.5	2.12 21.2	2.10 21.0	2.48 24.8%

* %は添加水銀 10 μ g に対する揮散率

PMA 添加前の土壤状態と揮散率の関係をみても PMA を繰り返し添加するたびに揮散量の順位が入れ代り一定の関係は認められなかった。

以上のことから、実際に年間数回 PMA を散布していた水田からは、耐性菌の増殖によって PMA 水銀の 20~30% ほどが、散布後 4~5 日のうちに大気中に揮散したであろうと推定される。なお水田土壤中に残留した PMA の大部分は硫化水銀となっていることが予想される⁹⁾。

200 μ g 水銀添加の場合：第 5 図には 10 日間の揮散の様子を示した。10 μ g 水銀添加 1 回目の結果 (第 2 図) と比べてこの場合は全体として揮散開始が若干遅れる傾向がみられた。外村⁶⁾によれば、PMA 耐性菌のなかには 150 ppm 水銀で増殖可能なものもいるが、0.1 ppm が耐性の上限濃度である場合が多いという。本実験では、100 ppm 水銀の PMA 溶液 2 ml を加えているので、添加時濃度は相当高い。揮散開始の遅れは、この高水銀濃度のために微生物の耐性獲得が遅れ、活性が低下したためと思われる。③、⑥区で 10 日間の揮散率がそれぞれ 0.6%、0.4% と低くなったのは、土壤と PMA の混合によって PMA の土壤吸収があったことと高い水銀濃度のため微生物の徴性が著しく阻害され、10



第 5 図 PMA を加えた水田土壤からの水銀の揮散 (水飽和土壤 200g 当たり 200 μ g 水銀 PMA を添加)

日間を経ても耐性を 得るに至らなかったためと思われる。しかし、他の四つの区では 3~4 日後には揮散の開始がみられ、微生物の種類によっては比較的短期間に PMA 耐性を獲得することを示した。そして、いったん耐性を獲得すると 2 ppm 水銀という高い水銀濃度条件でも ②、④ 区のように 9% 程度の高い揮散率を示すようになった。10 μ g 水銀 1 回目添加時最低の揮散率であった (第 2 図) ④区において 200 μ g 水銀添加時に最大の揮散率を示した理由は明らかでないが、一つには土壤による PMA 吸着量の違い、最も可能性の高い理由としては、そのときどきに住みついた菌の種類の違いによると推察される。

以上みてきたように全体として PMA 添加時の土壤の物理的条件と PMA 水銀の揮散量との間には明らかな傾向は認められず、そのときどきに土壤表面にいた生き残りの PMA 分解菌の多少に影響されているようであった。

本節の実験は一連で行なったので再現性の検討はできなかった。

3) 分離菌による PMA 水銀の揮散

まず、分離した 29 株の菌の 0.05 ppm 水銀 PMA 溶液における水銀揮散率を求め、揮散率 1% 未満、1~20%、20% 以上に分類した。このうちから揮散率 20% 以上を示した菌株を 1.0 ppm 水銀 PMA 溶液に添加し、同様に 20% 以上の揮散率を示した菌株を選び、さらに高濃度 PMA 溶液に添加するという操作を繰り返すことにより分離菌の PMA 水銀の揮散を調べた。第 3 表にはこれをまとめた。0.05 ppm 水銀 PMA 溶液での選抜を 1 日だけで止めたのは雑菌の増殖による影響を防ぐためである。

①0.05 ppm 水銀 PMA 溶液の場合：29 株のうち 24 時間内の揮散率が 20% 以上の菌は 12 株あり、最高の

第 3 表 土壤および水耕液から分離した菌株の PMA 中水銀揮散能

PMA 濃度 (ppm 水銀)*	0.05	1.0	2.5	5.0	
	揮散水銀測定期間 (日)	1	4	4	4
測定期間	1%以下	12/29	1/12	2/6	—
中の水銀揮散率	1~20%	5/29	5/12	3/6	1/1
散率**	20% 以上	12/29	6/12	1/6	—
最高揮散率 (20%以上揮散した菌のうち)	57.5	66.8	58.5	3.8***%	

* PMA 濃度 0.05 ppm 水銀を起点として、この期間に 20% 以上の揮散を示した菌株を順次濃い PMA 培地に加えた。

** 該当揮散率を示した菌株数/実験菌株数。

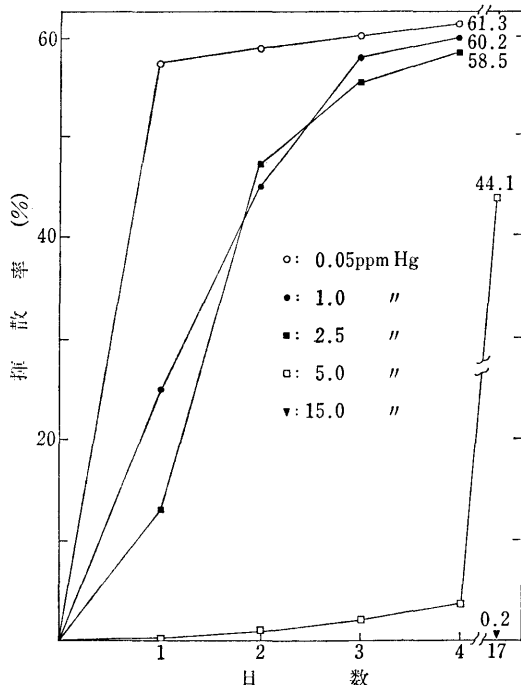
*** この菌は 17 日間の測定では 5 ppm 濃度で 44.1% を示した。

揮散率は 57.5% であった。1~20% の揮散率のものは 5 株, 1% 以下が 12 株であった。

②1.0ppm 水銀の場合：前項①で揮散率 20% 以上を示した 12 株の菌を 1ppm 水銀の PMA 溶液に加え、4 日間揮散率を測定した。その結果 6 株が 20% 以上、5 株が 1~20%, 1 株が 1% 未満であった。この PMA 濃度における 4 日間の最高揮散率は 66.8% であった。

③2.5ppm 水銀の場合：②で 20% 以上の揮散率を示した 6 株につき、2.5ppm 水銀 PMA 溶液における揮散率をみた。20% 以上の揮散率を示したのはこのうち 1 株のみで他は 20% 未満であった。最高の揮散率は 58.5% であった。20% 未満の菌でも、さらに長期間 PMA 溶液と接触させておけば耐性を獲得して揮散率を増加させるものもあると思われるが実験は 4 日で打ち切った。

④5.0ppm 水銀の場合：③で揮散率の高かった 1 株を 5ppm 水銀 PMA 溶液に加えた場合の揮散率は 4 日間で 3.8% と低かったが、17 日間測定を続けた結果、揮散率は 44.1% となった。この菌株は大麦水耕液より分離したものの一つであるが、これが上述の ①, ②, ③, ④ 各 PMA 溶液中でどのような水銀揮散率を示したのかを第 6 図に掲げた。0.05ppm 水銀の PMA 溶液においては 1 日目に、4 日間の総揮散量の 90% 以上を揮散させ、



第 6 図 オオムギ水耕液から分離した菌株による PMA の水銀揮散

低濃度で活性の高い菌が高濃度でも耐性を獲得しやすいことを示唆した。1.0 および 2.5ppm 水銀では揮散率曲線は類似し、揮散開始の遅れが目立つこともなく、4 日間の総揮散量も 0.05ppm 水銀の場合と同程度に高く、大麦起原の菌が比較的強い PMA 耐性を有していることを示した。PMA 濃度 5ppm 水銀および 15ppm 水銀区については 17 日間にわたって測定を続けた。5ppm 水銀では 4 日間の揮散率は 3.8% ときわめて低かったが、17 日後の累積揮散率は 44.1% となり、耐性の獲得は非常に著しかった。15ppm 水銀ではほとんど揮散はみられず、17 日後も 0.2% の累積揮散率を示したにすぎなかった。

以上のように、土壌や根などの水銀吸着物のない系では水田土壌やイネの水耕液面からの揮散に比べて水銀の揮散率は概して高かった。

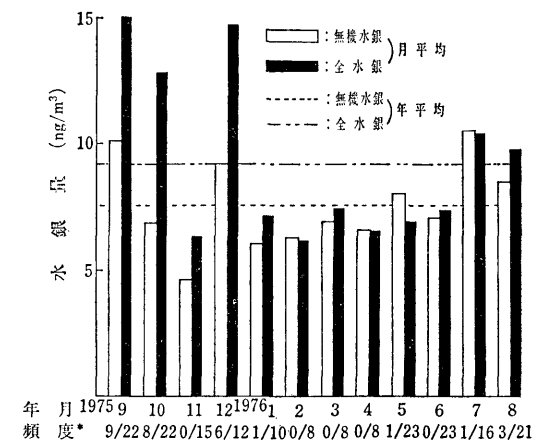
PMA 濃度が高くなると水銀の揮散開始や 1 日当たり最大揮散量の現われる日が遅れるが、この現象は水耕栽培の場合も水田土壌の場合も同様であった。

4) 大気中水銀濃度の年間変動

これまでに述べた室内実験に先立ち、1975 年から約 1 年間当研究所 3 階で外気を捕集し、全水銀および無機水銀の測定を続けた。これはかつて大量に水田に散布された残留水銀農薬の現在の揮散状況を把握しようとしたものである。以下に結果の概略を述べる。

無機水銀の測定：粗大ゴミを除くため石英綿を通した外気を 1l/分の流速で 1 時間捕集し、無炭原子吸光による還元気化法で測定した。

全水銀の測定：酸化銅をつめた加熱 (650°C) 石英管を通して前処理した外気を無機水銀の場合と同様に捕集、



第 7 図 大気中水銀含量の年間変動

* 分母は該当月の測定回数、分子は 15ng 以上の測定値頻度を示す。

測定した。

結果は第 7 図に示したとおりで、微生物活動の盛んな夏季の値が特別高いということもなく、1 年間の平均濃度は無機水銀、全水銀ともに 10ng Hg/m^3 以下の正常値⁷⁾であった。測定値のなかには無機水銀が全水銀を上まわることがあったが、この原因は明らかでない。濃度 15ng Hg/m^3 以上が現われた回数をその月の測定回数に対比して図の下部に示した。残留水銀農薬から水銀が揮散しつづけていけば、夏季にもっと多くの高濃度回数を記録するはずである。室内実験の結果から水田に散布された PMA 水銀の大部分は数日間で揮散することがわかった。水銀農薬の散布が禁止されて 7 年を経過した今日、この測定値はむしろ当然のことといえよう。なお、大気中の水銀濃度と光化学スモッグ、風向など気象状況との関連もみられず、ただ風の強い日は水銀濃度も低くなった程度であった。

3. 要 約

水銀農薬の散布が禁止された 1968 年までの約 15 年間にわが国水田に施用された有機水銀農薬の量はきわめて多量にのぼる。しかし、これら有機水銀製剤の水田土壌中における挙動は不明の点が多い。本報ではとくに多量に施用された酢酸フェニル水銀 (PMA) を用い、その土壌中における挙動を検討した。

- 1) 水田土壌中に注入した PMA からの水銀の揮散はきわめて少なかったが、田面水に加えた場合はかなり多くの水銀が短期間に揮散した。この場合、イネの生育があると揮散した金属水銀の蒸気はイネの茎葉に吸収された。
- 2) $3\sim 77\text{mg 水銀/m}^3$ の金属水銀蒸気をイネの茎葉に 10 分間接触循環させると、99% 以上はイネに吸収され、その後一定の傾向もなく不意にその一部が茎葉または根から排出された。
- 3) 土壌の水分含量や PMA 添加条件をかえた実験をしたが、揮散水銀量との関連は明確でなかった。
- 4) 実際に水田に施用された程度の PMA 量を繰り返して散布すると散布回数の増加とともに 1 日当たり最大揮散量の出現期日が早まり、3, 4 回目の散布では直後の

24 時間内に最大揮散した。添加の繰り返しにより総揮散量の平均値も高くなったが、これは土壌中の PMA 耐性菌の増殖が平均化してきたためと思われる。水銀農薬の散布当時は、散布水銀の 20~30% は数日間に揮散し、その一部は茎葉に吸収されていたものと推定された。

5) PMA を加えた水耕液または土壌から分離した 29 株の菌のうち、0.05 ppm 水銀の PMA 水銀を 1 日で 20% 以上揮散させる菌は 12 株、このうち 1 ppm 水銀の PMA 水銀を 4 日間で 20% 以上揮散させた菌は 6 株あった。この比較的耐性をもった菌は 5 ppm 水銀では最初の揮散量は非常に低かったが 17 日後には 40% 以上の総揮散量を示した。これらの菌も水銀濃度 15 ppm では揮散能力はほとんどなかった。

6) 残留水銀農薬からの水銀揮散が続いていることを予想して 1975 年から 1 年間大気中の水銀濃度を測定したが、揮散水銀量は概して小さく、気温の高い微生物活動の盛んな時期の水銀濃度が高くなるという現象も認められなかった。

謝 辞 この研究を行なうにあたり、微生物の分離、培養などについては大阪府立放射線中央研究所総括研究員上野照雄氏のご協力を得た。ここにお礼申しあげます。

文 献

- 1) 小島 懋・藤本 弘・虎谷博一：酢酸フェニル水銀を加えた水耕液からの水銀の揮散，土肥誌，50，523~528 (1979)
- 2) AOMINE, S. and INOUE, K.: Retention of Mercury by Soils. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 13, 195~200 (1967)
- 3) 下村 滋・西村洋一・福本佳子・棚瀬弥一郎：水酸化鉄による水銀 (II) イオンの吸着，衛生化学，15，84~89 (1969)
- 4) 長谷川敬彦・伊地知令子・新関 満：環境気中水銀の捕集と測定，名大環境医学研年報，XXIV，201~204 (1973)
- 5) 喜田村正次・近藤雅臣・滝沢行雄・藤井正美・藤井素士：水銀，p. 228，講談社 (1976)
- 6) 外村健三：有機水銀化合物と微生物，化学，24，508~514 (1969)
- 7) JOHNSON, D. L. and BRAMAN, R. S.: Distribution of Atmospheric Mercury Species Near Ground. *Environ. Sci. Technol.*, 8, 1003~1009 (1974)