

集約的農業地域・奄美群島沖永良部島における 地下水への農薬混入

田代 豊・谷山 鉄郎

(三重大学生物資源学部)

1995年6月23日受理

要旨 : 沖永良部島は日本の南西諸島における典型的な農業地域の一つである。同島の北東半分を占める和泊町においては、花き栽培などの集約的農業のために土地面積当たりの農薬消費量が日本全国の平均の3倍以上に達している。同島において、33地点の115の地下水サンプルの中の混入農薬(フェニトロチオン、ダイアジノン、プロチオホス、キャプタン)を分析した。8地点の15サンプルからこれら4種の農薬のうちいずれかが検出された。この結果は、日本においてもゴルフ場ばかりでなく集約的農業のために施用される農業によって地下水が汚染される場合があることを示している。キャプタンは、分析した農薬の中でも最も消費量が多いものであったが、2サンプルからのみ検出された。これら2サンプルは、集約的な花き栽培がより盛んな同町北東部からのものであった。フェニトロチオンとダイアジノンは年間を通じて様々な地点から検出された。さらに、同町におけるこれら2種の農薬の消費量は異なる季節変動を示すにもかかわらず、最も汚染されていた地点の一つについて、これら2種の農薬の検出濃度の比は毎回ほぼ一定であった。このことから、これらの農業は同島の地下水に比較的緩慢かつ継続的に浸透していくことが示唆される。

キーワード : 花き栽培, 集約的農業, 地下水汚染, 農薬。

Pesticide Contamination in Groundwater on Okinoerabu Island, an Intensive Agricultural District in Japan : Yutaka TASHIRO and Tetsuro TANIYAMA (*Faculty of Bioresources, Mie University, Kamihama, Tsu, Mie 514 Japan*)

Abstract : Okinoerabu Island is one of the typical agricultural districts in Southwest Islands of Japan. More than three times as much pesticides as the nationwide average are consumed on each unit area of land for floriculture and other intensive agricultures in Wadamari-town, on the northeast half of this island. The contamination with pesticides (fenitrothion, diazinon, prothiofos and captan) in 115 groundwater samples at 33 locations on this island were determined. Fifteen samples at eight locations were found to contain some of these four pesticides. This result indicates that the groundwater can be polluted by pesticides used for intensive agricultures. Among the four analysed pesticides, the amount of captan used was the greatest in Wadamari-town. However, it was found in only two groundwater samples. These are located in the northeast part of this town, where the intensive floriculture is more extensive. The contaminations with fenitrothion and diazinon were detected in the samples from various locations throughout all seasons. In addition, the ratio between the concentrations of these two pesticides in the samples from one significantly polluted point did not vary fundamentally whenever they were detected. This result suggests that these pesticides penetrate to the groundwater rather constantly and slowly in this island.

Key words : Floriculture, Groundwater Pollution, Intensive agriculture, Pesticide.

日本の集約的農業は、狭い国土での農業生産向上に貢献してきたとされる。しかし一方で、集約的農業生産活動による環境への影響が問題視される機会も近年増えている。沖縄・奄美などの南西諸島の産業構造は農業に依存する割合の高いケースが多い。さらにサンゴ石灰岩を主体とする地質構造の島においては島内地下水質に対して地上の農業生産活動が大きな影響を与えることが予想される。同時にこのような南西諸島の多くは住民の飲料水を地下水に依存するため、その汚染は日本本土などとは異なる重大性を持つ問題としてとらえられる必要がある。

現在まで、日本国内での農業による地下水への農薬混入については、農薬由来の臭化物イオンに関す

る報告^{14,16)}の他、田瀬¹¹⁾やFushiwakiら¹⁾による浅間山北麓のキャベツ産地での調査、宮古島地下水水質保全対策協議会⁹⁾による調査などの少数の報告があるのみである。ゴルフ場などでない一般の農業地域において、実際の農業に使用される多種類の農薬を対象として広域的に地下水汚染が調査された例はほとんどない。一方、米国では1970年代以来、農薬や硝酸態窒素など農業による地下水汚染が顕在化し、飲料水の原水の約50%を地下水に依存している背景から大きな問題として扱われてきた⁹⁾。今後この分野の調査は日本国内においても重要なものとなると考えられる。

本研究では、集約的農業が盛んで農薬使用量が多く、かつ島の大部分がサンゴ石灰岩に被われた奄美

群島沖永良部島内において、地下水への農薬の混入状況について調査し、農業の環境への影響について考察した。

調査方法

1. 調査地の概況

奄美群島に属する沖永良部島は北緯 27°19'~27°24', 東経 128°30'~128°43' に位置し、年平均気温 22.3°C (1951 年~1980 年平均), 年降水量 2170 mm (同) の亜熱帯性の気候に属する。周囲 49.3 km, 面積 94.5 km², 最高標高 246 m の低平な地形をなし、地層は古生層を基盤とし、その大部分が琉球石灰岩 (サンゴ石灰岩) で被われている^{6,10)}。河川の発達は一

弱であるが、島内随所に石灰洞がみられ、暗川 (くらごう) と呼ばれる地下水系が発達しており、古くから飲用・生活・農業用水として利用されてきている。

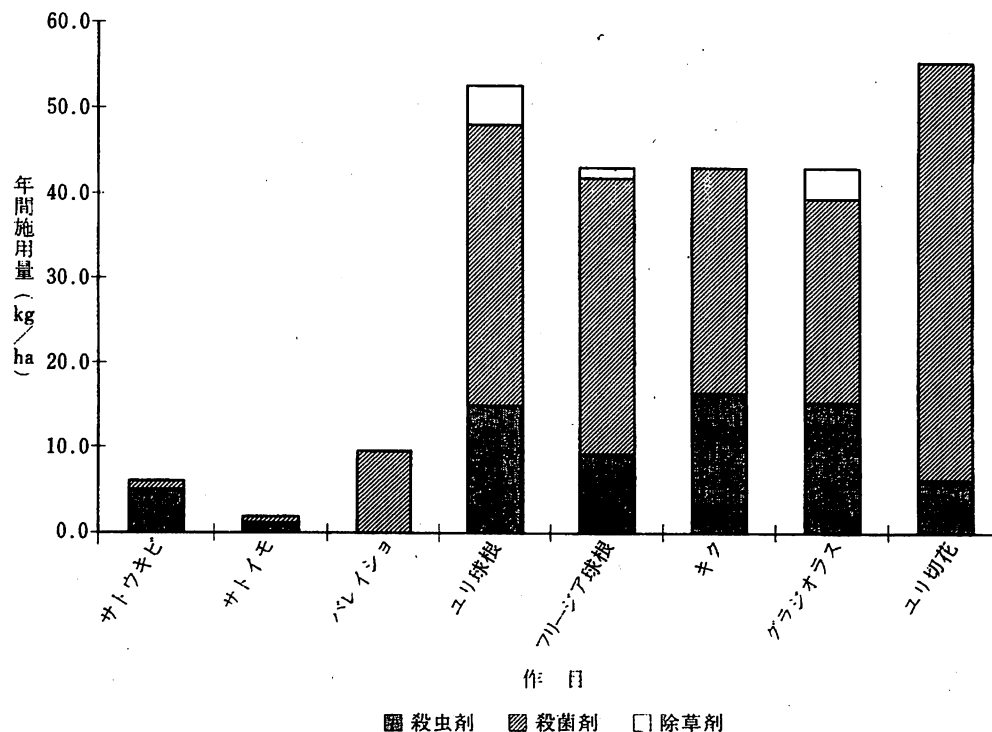
住民は島内北東部の和泊、南西部の知名の 2 町に合計約 15,000 人が居住し、そのうち約半数が農業に従事している。古くからテッポウユリの産地として知られているが、近年特に集約的な花き栽培 (切り花・球根) が成長し、同島北東半分を占める和泊町においては農畜産物総生産額 62 億円中 43.6% を占める (1991 年度) に至っている。このような形での農業振興は農薬と化学肥料の大量消費につながっている。1991 年度の和泊町の年間農薬 (製品) 出荷量

第 1 表 年間の農薬 (製品) 出荷量。

	和泊町	沖縄県	全国
農薬 (製品) 出荷量 P(t) (殺虫剤・殺菌剤・除草剤の合計)	126.2	2,484*	464,422*
農作物作付面積 C(ha)	2,016	45,700**	5,349,000**
土地面積 S(ha)	4,033	226,400	37,773,711
C/S (%)	49.99	20.19	14.16
P/C (kg/ha)	62.6	54.4	86.5
P/S (kg/ha)	31.3	11.0	12.2

* : 日本植物防疫協会『農薬要覧-1992-』による。

** : 農林統計協会『ポケット農林水産統計-平成 4 年版-』による。



第 1 図 和泊町における作目ごとの耕地単位面積当たり農薬 (原体) 施用量。

を第1表に示したが、土地面積当たりの農薬使用量(P/S)は全国平均の約3倍に達していた。耕地単位面積当たりの農薬使用量を現地の農業改良普及所の資料をもとに推算したものを第1図に示したが、花き栽培はサトウキビ栽培に比べ、10倍近くの量の農薬を使用していることになる。この結果、和泊町の耕地面積の2割で行われている花き栽培が全農薬消費量の7割を占めていることになる。消費量の多い農薬の内訳は第2図のようなものであるが、とくにユリ球根の殺菌に使われるキャプタンの土地面積当たり消費量(原体換算)は全国平均の50倍を越え、全国の総出荷量の約1%に相当する量をこの周囲約50kmの島で消費するという極端な状況になっている。本研究では島内北東部を占める和泊町内(一部隣接の知名町内を含む)において33地点の地下水(井戸水および湧水)を採取し、その混入農薬を分析した。

2. 試料採取地点および分析方法

沖永良部島内の第2表に示す33地点で、1993年5月から1994年4月の期間に各々1~11回、合計115サンプルの地下水を採取した。サンプルは冷蔵保存し、翌日までに固相抽出法で市販のSupelclean™ ENVI™-18 SPE Tubes 6 ml (1 g)を用いて濃縮した。これを現地で、キャピラリーカラムCBP-1(長さ50 m, 0.32 mmφ, 膜厚0.5 μm)を装着した島津製作所製ガスクロマトグラフGC14Bで分離し、FPD検出器(PおよびSフィルター)で定量した。和泊町で使用量の多い農薬のうち、殺虫剤のフェニトロチオン(MEP)、ダイアジノン(DIA)、プロチオホス(PRO)の3種をPフィルターを用いて、また殺菌剤のキャプタン(CAP)をSフィルターを用いて定量した。なお、検出器の特異性やカラムにおける保持時間の標品との一致等から農薬の同定に誤りはないと考えられたが、さらにGC-MS(島津製作所製QP-5000)による分析を複数のサンプルについて行い、同定の正しさを再確認した。

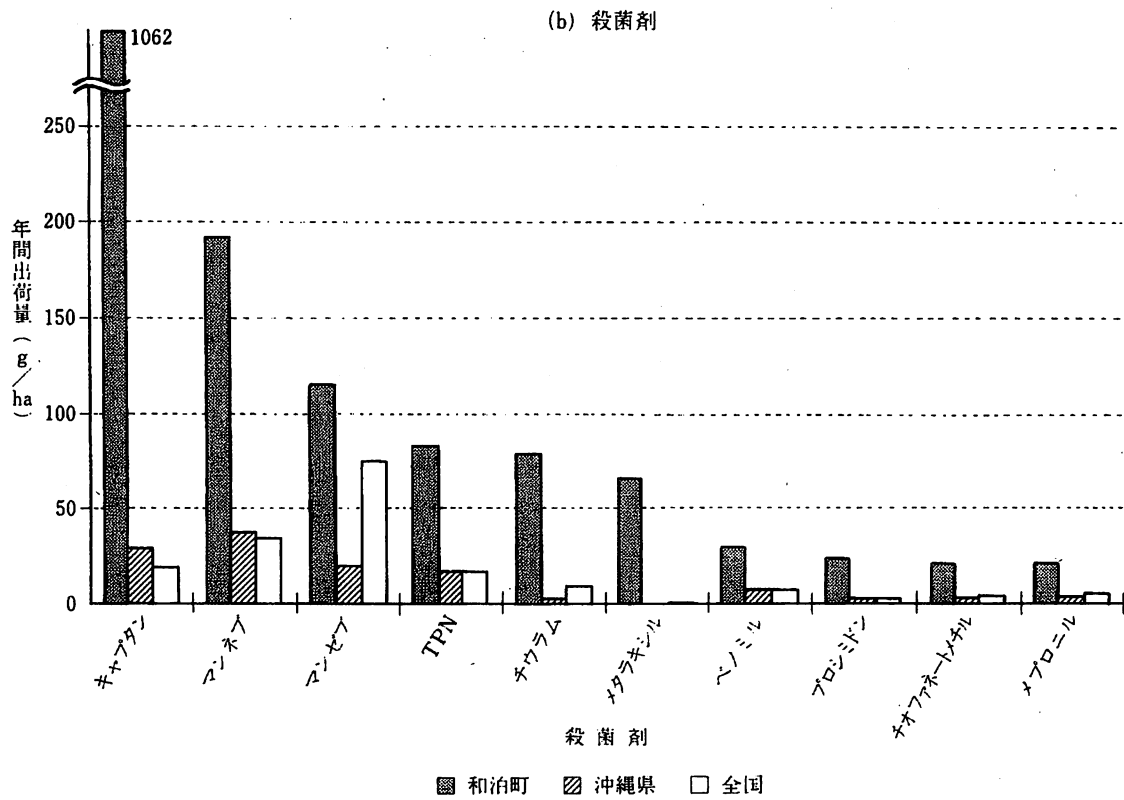
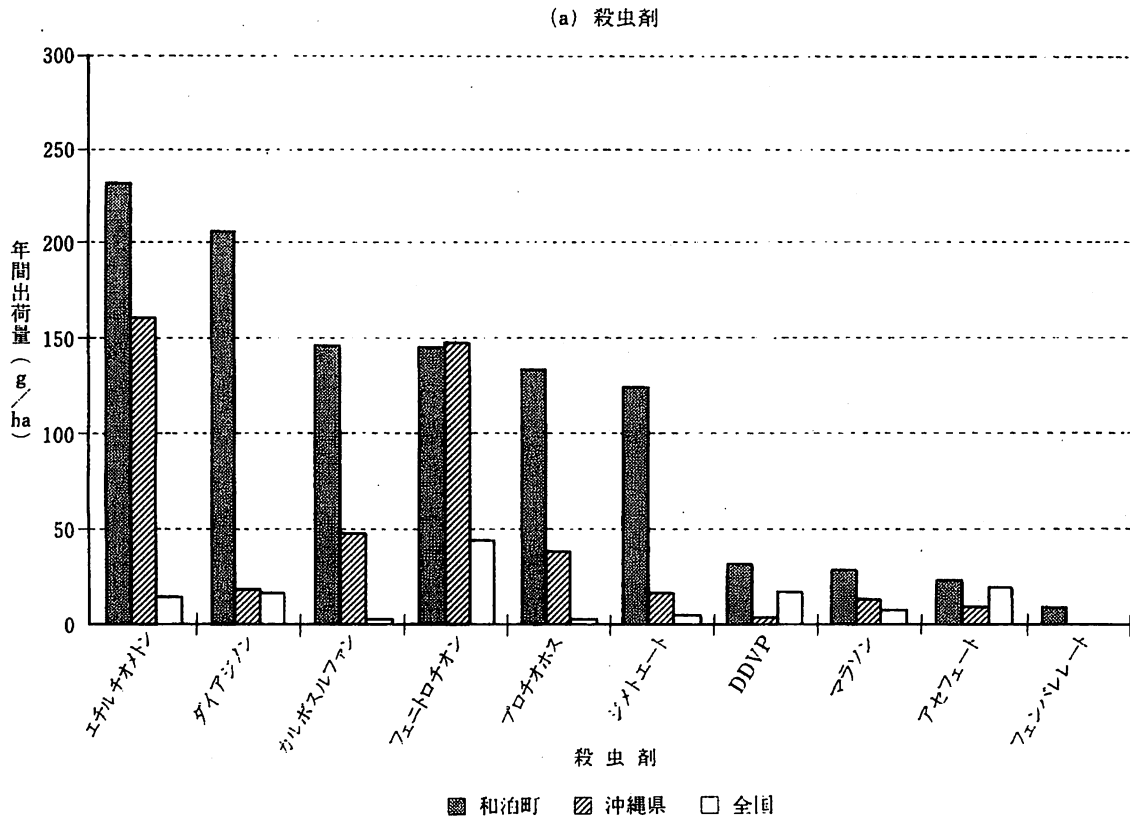
結果と考察

サンプル採取地点および検出農薬の種類などを第2表および第3図に示した。分析の結果、8地点の延べ15サンプルから、定量した4種類の農薬のいずれかが定量下限(いずれも0.1 ppb)以上の濃度で検出された。なお、これらの図表中ではフェニトロチオン、ダイアジノン、プロチオホス、キャプタンを各々MEP, DIA, PRO, CAPと略記した。

沖永良部島は、その大部分が透水性の高い琉球石灰岩(琉球層群)に被われているため、地上の農業生産活動が地下水環境に大きく影響を与えると考えられている¹⁴⁾。その上に農薬の多用が重なり、農薬による地下水汚染が発生しやすい条件が揃っていると考えられる。第3図から明らかなように、農薬検出地点は町内全体に散在していた。ゴルフ場で使用される農薬による地下水汚染はこれまでも多数報告されてきているが、今回の調査結果は、日本全国内において農業による地下水農薬汚染が現実起こっていることを示している。これは、農村地域の不特定多数の農業者が発生源となって、住民自身の生活環境の農薬汚染がもたらされていると言える。本調査の沖永良部島のような地域では、閉鎖された生活圏である島全体が農業地域でもあるため、住民の生活の場全体が汚染され得ることを意味する。現在の農薬使用基準等は散布者の安全確保と周辺水域の急性的な汚染を防止するために、個々の農薬使用時を想定して設定されたものである。一般の農業における多数の農業者による継続的な使用を想定し、住民の生活圏としての農村地域の環境保全の視点を加えて、地域全体としての使用量に制限を設けた農薬の新たな使用基準の作成が必要となろう。

分析した農薬のうち、フェニトロチオンとダイアジノンの検出地点は同町内全体に広く分散していた。この2種の殺虫剤は、花き栽培のみならずサトウキビ・野菜などの栽培にも汎用されるため、町内での地域的な片寄りが現れなかったものと考えられる。一方、キャプタンは花き(とくにユリ)栽培に多用され、フェニトロチオンやダイアジノンに比較すると1992年の年間消費量がいずれも9倍前後にも達していた。キャプタンが検出されたのは2サンプルのみであったが、それらはいずれも同町北東部のものであった。これは同町内では南西部に比較して北東部がより花き栽培が盛んである¹⁵⁾ことと矛盾しない。

半減期が数十日であるフェニトロチオンやダイアジノンに比べキャプタンは数日以内で半減するとされている。また、各都道府県のゴルフ場排水検体中の検出率も前2者が3~4%であるのに対しキャプタンは0.6%である⁵⁾。このように、前2者に比べてキャプタンは減少しやすく環境中から検出されにくいものであると予想され、このことが2サンプルのみからしか検出されなかった理由の一つであると推測される。さらに本町におけるキャプタンの使用は、

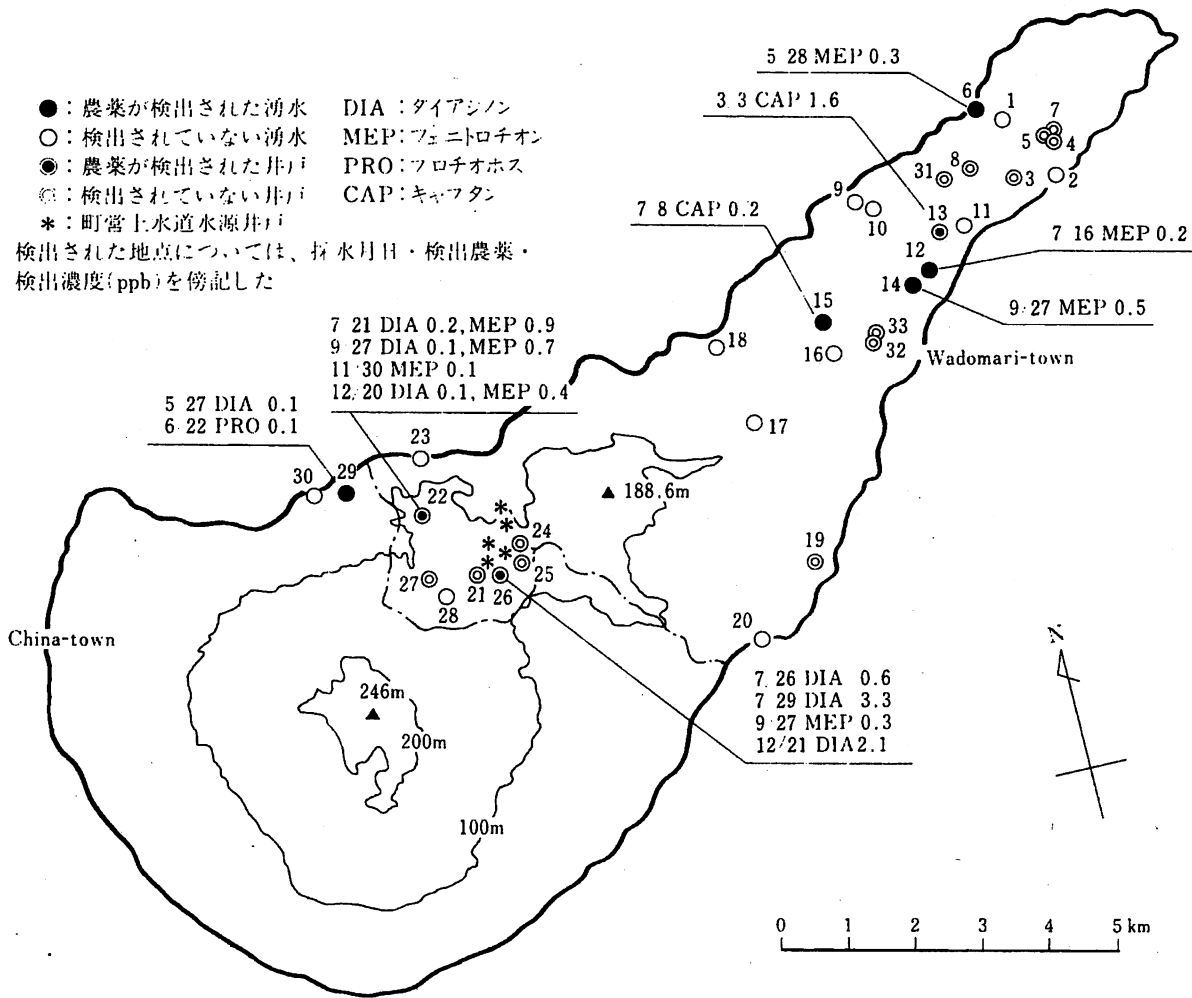


第2図 和泊町で出荷量の多い各農薬(原体)の土地面積当たり年間出荷量(1991年度)。

第2表 地下水の採取地点および分析結果。

地点 番号	形態*	湧泉の名称 または井深	周辺の状況	分析結果：採水月/日（'93年5月～'94年4月）、検出農薬、 検出濃度(ppb)を記す。「ND」は0.1ppb未満 を示す。	検出回数 /分析回数
1	湧泉	国頭暗川	住宅	7/16 ND	0/1
2	湧泉	多葉	海岸の崖下	5/20 ND, 6/30 ND, 7/28 ND, 9/30 ND, 11/19 ND, 12/30 ND, 1/19 ND	0/7
3	井戸 b	?	畑地帯	5/20 ND, 11/19 ND	0/2
4	井戸 b	20 m	畑地帯	10/19 ND, 11/24 ND, 12/27 ND, 1/19 ND	0/4
5	井戸 b	36 m	畑地帯	5/28 ND, 7/30 ND, 9/27 ND, 10/19 ND, 11/24 ND, 12/27 ND, 1/19 ND	0/7
6	湧泉	汐海	海岸の崖下	5/28 MEP 0.3, 6/30 ND, 7/28 ND, 9/30 ND	1/4
7	井戸 b	30 m	畑地帯	5/28 ND, 10/19 ND	0/2
8	井戸 b	35 m	畑地帯	6/8 ND, 7/30 ND, 9/30 ND, 11/24 ND, 12/30 ND	0/5
9	湧泉	西原ティー ガナシ	畑地帯	6/22 ND, 6/29 ND, 7/20 ND	0/3
10	湧泉	—	住宅・畑	6/29 ND	0/1
11	湧泉	—	畑・草地	6/22 ND	0/1
12	湧泉	—	畑地帯	7/16 MEP 0.2	1/1
13	井戸 b	9 m	住宅・畑	7/16 ND, 8/24 ND, 9/27 ND, 10/19 ND, 11/30 ND, 12/30 ND, 3/3 CAP 1.6	1/7
14	湧泉	善美留暗川	住宅	7/16 ND, 9/27 MEP 0.5, 10/19 ND, 11/30 ND, 12/30 ND	1/5
15	湧泉	菅原神社手水	神社・畑	7/8 CAP 0.2	1/1
16	湧泉	奥川	畑・学校	7/20 ND	0/1
17	湧泉	和ソージゴ	畑地帯	7/8 ND	0/1
18	湧泉	ワンジョ	海岸の崖下	5/28 ND, 6/22 ND, 6/28 ND, 7/28 ND, 8/20 ND, 9/30 ND, 10/20 ND, 11/24 ND, 12/29 ND, 2/1 ND, 3/1 ND	0/11
19	井戸 a	12 m	海近い低地	5/27 ND	0/1
20	湧泉	—	海岸の崖下	6/22 ND, 7/27 ND, 9/30 ND, 11/30 ND, 12/21 ND, 1/23 ND	0/6
21	井戸 b	12 m	畑・牛舎	9/19 ND	0/1
22	井戸 b	52 m	畑地帯	7/21 DIA, 0.2 MEP 0.9, 9/27 DIA 0.1 MEP 0.7, 10/20 ND, 11/30 MEP 0.1, 12/20 DIA 0.1, MEP 0.4, 1/22 ND	4/6
23	湧湧泉	—	海岸の崖下	6/29 ND	0/1
24	井戸 b	10 m	畑・林地	5/24 ND	0/1
25	井戸 b	90 m	畑地帯	5/26 ND, 7/26 ND, 7/30 ND, 8/21 ND, 9/30 ND, 10/20 ND, 11/29 ND, 12/21 ND, 2/1 ND	0/9
26	井戸 b	45 m	畑・住宅	5/26 ND, 6/30 ND, 7/26 DIA 0.6, 7/29 DIA 3.3, 8/21 ND, 9/27 MEP 0.3, 10/20 ND, 11/29 ND, 12/21 DIA 2.1, 2/18 ND	4/10
27	井戸 a	10 m	住宅・畑	7/26 ND	0/1
28	湧泉	—	畑・山野	7/26 ND	0/1
29	湧泉	阿場	海岸の崖下	5/27 DIA 0.1, 6/22 PRO 0.1, 6/29 ND, 7/19 ND, 9/30 ND	2/5
30	湧泉	阿場	海岸の崖下	7/19 ND	0/1
31	井戸 b	13 a	住宅・畑	8/3 ND	0/1
32	井戸 b	60 m	住宅・畑	8/24 ND, 9/27 ND, 11/30 ND	0/3
33	井戸 b	10 m	住宅・畑	8/24 ND, 9/27 ND, 11/30 ND, 4/16 ND	0/4

*：「形態」の欄の「井戸 a」は堀抜き井戸を、「井戸 b」はボーリング井戸を表す。



第3図 サンプル採取地点および検出農薬。

大型の水槽に薬液を調整し、花き球根を浸漬して殺菌するために使われるものが消費量の中の大部分を占め、畑に散布されるものは少ない。その後の廃液は多くの場合側溝に投棄されて流去するため、土壌を通しての地下水への混入は総消費量が多い割には少なくなるものと予想される。なお、これは一方で、キャプタンについては地下水汚染のみならず、側溝排水などからの沿岸地域の農薬汚染に注意する必要があることを意味している。

次に、本調査において農薬が検出された8地点(第2表および第3図)の状況について説明を加える。

No. 6: 畑作地帯に近い海岸の崖下にある湧泉。1993年5月頃には概ね日量500m³程度の湧泉があったが、夏季以降減少し、10月以降は枯渇して採水不能となった。

No. 12: No.13の近くにある湧泉。農業用水に利用されている。

No. 13: 海岸にやや近く(直線距離約300m)、標

高の低い地点にある民家で生活用水として利用されている浅いボーリング井戸(井深9m)。民家の背後は島稜部に向かってなだらかな傾斜地に畑作地帯が広がる。沖永良部測候所において9.5mmの降雨が観測された3月3日にキャプタンが検出された。

No.14: 海岸にやや近い(直線距離約500m)、集落内にある石灰洞地上開口部内(地下約5m)を流れる伏流水。周辺状況より、生活排水が混入している可能性も考えられる。

No.15: 島稜部の断層の下にある湧泉。そばの神社の手水とされているが、現在はほとんど使われていない。周辺は畑作地であり、ユリ球根集荷場が近くにある。ユリ球根集荷期間中の7月8日にサンプリングしたところ、キャプタンが検出された。

No.22: 畑作地帯の中にあるボーリング井戸(井深52m)。当初は現地町営水道水源探索のために試掘されたものであるが、現在は農業用水として使用されている。6回のサンプリングのうち4回農薬が検

出された。

No. 26: 畑作地帯の中の小規模な低湿地にあるボーリング井戸(井深 45 m)。隣接する民家が生活用水として利用している。ストレーナ(取水孔)が地表に近い層からあるため、地表に近い層の水も井戸内に取り込まれている可能性が高い。10回のサンプリングのうち4回農薬が検出された。強い降雨(沖永良部測候所において日降水量 79.5 mm を記録)のあった7月29日には本調査全体の中で最も高濃度のダイアジノン(3.3 ppb)が検出された。

No. 29: 林地と畑の混在する地域に近い海岸段丘下の湧泉。農業用水として利用されている。

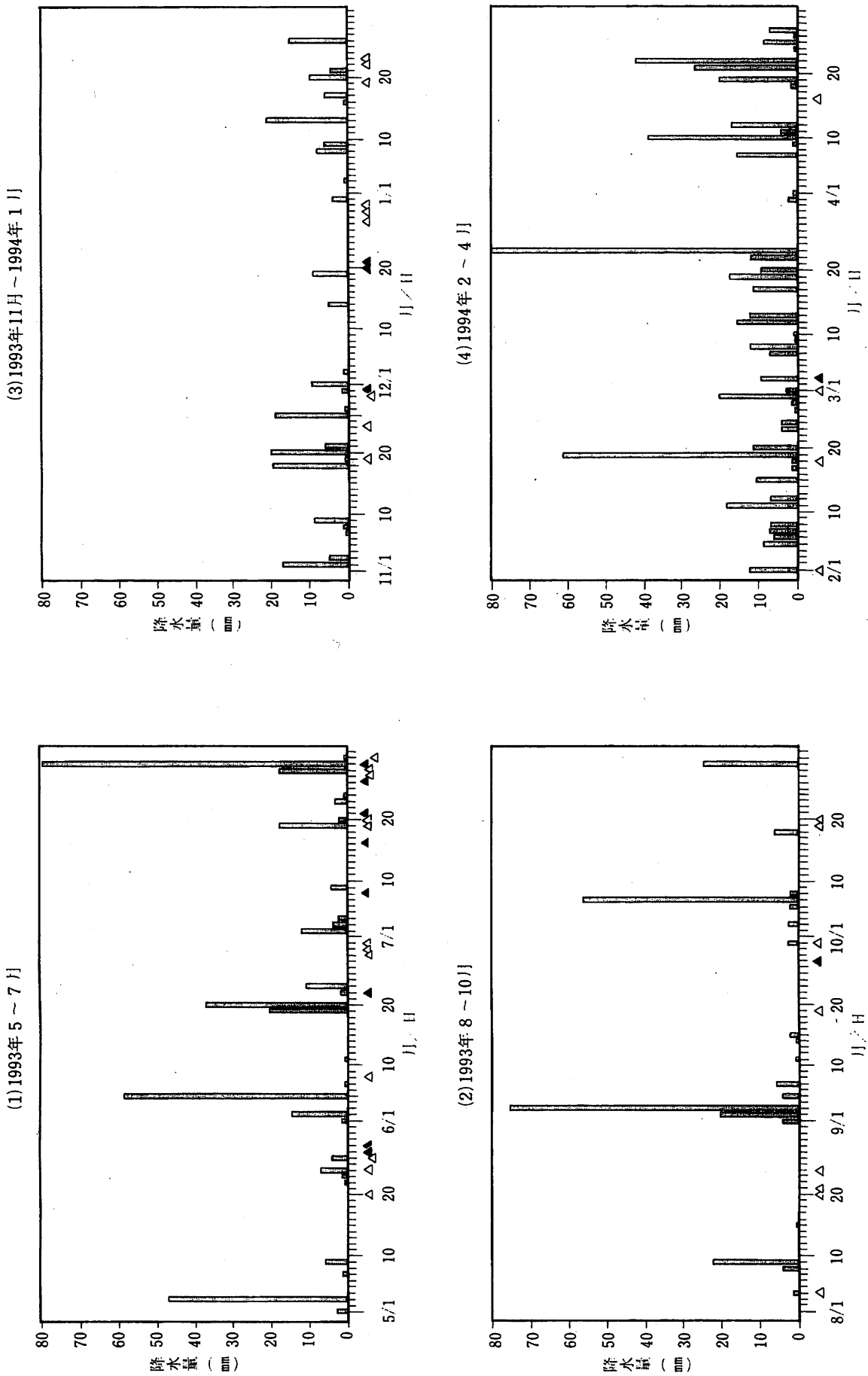
第4図に、沖永良部測候所で観測された毎日の降水量と、サンプリングを実施した日、ならびにサンプル中から農薬が検出された日を示した。降雨と農薬の検出との間に単純な関連は見いだされなかった。ただし、上述した7月29日のNo.26のような場合には、とくに激しい降雨に伴って、平常時より多くの農薬が土壌の表層近くから浅層の地下水へ混入したことが考えられる。ゴルフ場排水の農薬分析において、降雨直後にサンプリングして調査を行うと降雨に関係なくサンプリングした調査に比べ農薬の検出率が高いものになったという報告¹⁶⁾があるが、本調査の結果は、ある程度以上の深さのある地下水は、このようなごく浅い層の地下水に比べ降雨の直接的な影響を受けにくいことを示唆している。なお、No.26のような、井深が深く、浅層の地下水も取り込むタイプの井戸は、より深層の地下水への農薬等汚染物質の混入経路となり得る可能性がある⁹⁾。

これまでに、地上に散布された農薬の土壌および水中での消長については多数の研究がなされている。最近では、旧来の有機塩酸系を中心とした農薬に比べて分解しやすい農薬が開発され、環境や作物への残留は少なくなっていると、一般には言われている。本調査において分析対象とした農薬も、多くは畑において数日から1ヶ月程度で半減するとされている。しかし一方で丸⁷⁾が行った水田用ライシメーター実験におけるフェニトロチオンや、掘ら⁴⁾が行ったライシメーター実験におけるキャプタン、伏脇ら²⁾によるPCNBの畑作地帯における環境中動態調査などのように、条件によっては数十日から長くて1年にわたる期間において農薬が残留する場合があることも報告されている。したがって、地上で散布された農薬がすべて地下水に達する以前に土壌中で分解されるとは限らない。この点からも、農薬

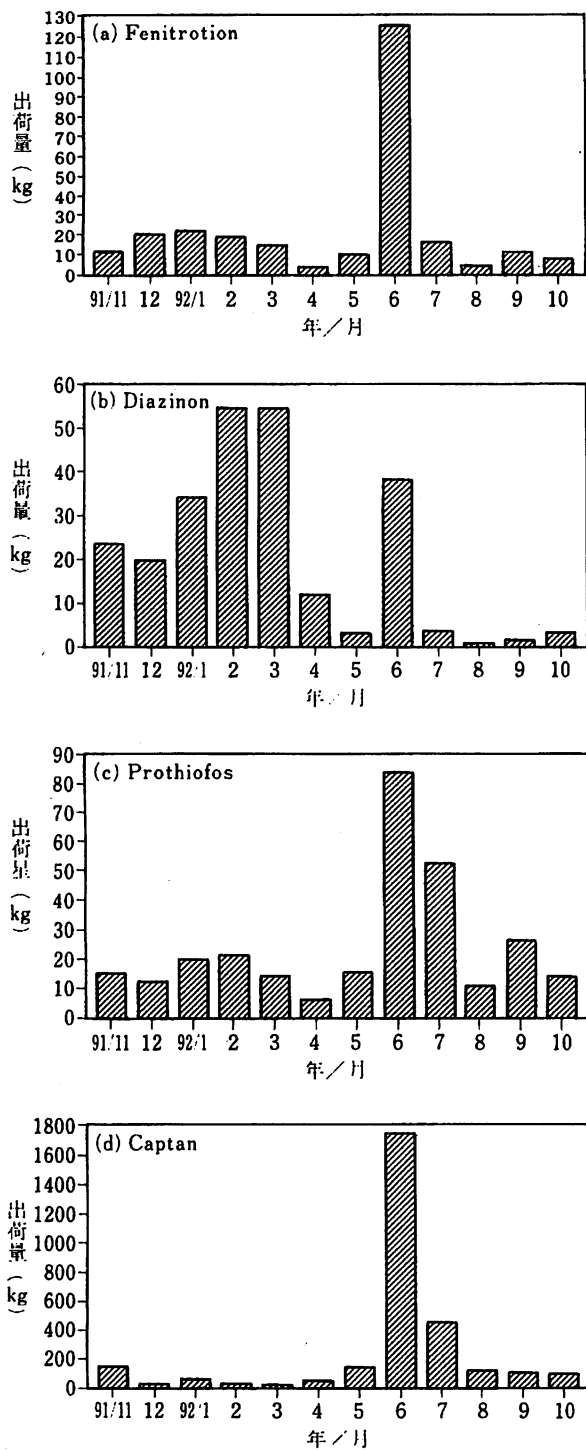
散布直後のみでなく、より恒常的な農地から地下水への農薬混入が発生する可能性があることが予想される。

第4図のように、農薬の検出は約一年間の調査期間全体を通じて散発的に見られた。従って、季節による農薬散布機会の多少に対応してある特定の時期に集中的に検出されるようなことは、本調査においては見いだされなかった。農薬使用量の季節変動を見るため、同島において多くの花き栽培農家を中心に農薬を販売している「沖永良部花き流通センター」における1991年11月から1992年10月までの月毎の各農薬の販売量を第5図に示した。各農家では多量の農薬を貯蔵することは通常ないので、販売量の推移は各農家による散布量の季節による推移を概ね反映していると考えられる。フェニトロチオンは初夏の6月に一度に大量に購入される。これに対しダイアジノンは、6月にもピークを持つものの、11月から3月にかけての冬場の購入量が多いという特徴がある。地下水の分析の結果、この2種の農薬は季節を問わず比較的多くの地点で検出された。とくに同じ地点でしばしば検出されたNo.22に注目すると、検出された両農薬の濃度比は調査期間中概ね同程度のままで、季節によって大きく変動することはなかった。これらのことは、少なくともフェニトロチオンとダイアジノンについて、地下水への混入が必ずしもいずれかの農薬の散布直後の短い期間に起こっているばかりではなく、土壌との吸着平衡を保ちつつ恒常的に溶出していることを示唆している。

今回検出された農薬のうちダイアジノンとフェニトロチオンは日本の水道水質基準の中で監視項目として挙げられ、その指針値は各々5 ppb、3 ppbとされている。本調査で検出された地下水中の最高濃度は各々3.3 ppb、0.9 ppbであり、これらの指針値には達していないが、近い値を示している。また、米国環境保護庁は飲料水中の各種混入農薬による健康影響調査結果を詳細に解析し、飲料水中の農薬濃度についてHA値(健康に関する勧告値)を勧告している¹¹⁾。この中にはダイアジノンも記載されている。その勧告値と比較すると、本調査におけるダイアジノンの最高濃度3.3 ppbは「体重10 kgの子供が約7年間飲用しても発ガン性を示さず、有害作用が生じない濃度」とされている5 ppbに匹敵するレベルであり、「生涯にわたって飲用しても発ガン性を示さず、有害作用が生じない濃度」とされている0.6 ppb



第4図 毎日の降水量およびサンプリング実施日。
 △: サンプリングした地点から農薬が検出されなかった日。
 ▲: 農薬の検出された地点のあった日。



第5図 月毎の各農薬出荷量(原体換算)の推移。
(沖永良部花き流通センター扱い量)

の勧告値を大きく越えている。この最高濃度が検出された井戸(No.26)は現在は飲用には使われていないが、現在の町営水道水源井戸に近いものであり、注意を要する事態と言えよう。

日本の水道水質基準では、フェニトロチオンとダイアジノンが「監視項目」とされ、自治体による検査

は義務づけられていない。従って、現実に本調査地で供給されている町営水道水にこれらが混入していないかどうかは分析されていない。さらに、キャプタン、プロチオホスなど本町で多量に消費される農薬のほとんどはこの「監視項目」にも挙げられていないため、水道水への混入は全く監視されていない。本調査によって、一般の農業による農薬が水道水源に近接した地下水中に混入するという事態が、日本国内でも発生していることが明らかになった。しかも一般の農業における農薬は、突発的な汚染事故とは異なり、行政を主体とした汚染調査が実施されにくい。このような条件の地域においては、その地域で実際に使用されている農薬の水道水への混入の分析を何らかの形で義務づけることも、実状に即した飲料水の安全性確保のために検討されるべきであろう。

謝辞:本調査は和泊町当局の人的・経済的援助のもとに実施されたものである。和泊町当局の時期を得た調査と援助に感謝するとともに、調査活動にご協力いただいた和泊町実験農場職員諸氏に深く謝意を表す次第である。また、三重大学教授池田勝彦博士に感謝する。

引用文献

1. Fushiwaki, Y., N. Tase, A. Saeki and K. Urano 1990. Pollution by the fungicide pentachloronitrobenzene in an intensive farming area in Japan; Sci. Total Environ. 92:55-67.
2. 伏脇裕一・浦野紘平 1992. 農薬による環境汚染の現状と課題. 用水と廃水 34:1003-1014.
3. 早瀬達郎 1993. 米国・ECにおける地下水硝酸汚染の現状(1). 農及園 68:544-548.
4. 掘 秀朗・南由美子・橋場久雄 1993. 簡易型ライシメーターを用いた農薬の降雨時流出特性に関する研究. 石川保健環境センター年報 30:276-283.
5. 早川修三・佐来栄治・加藤 進・金丸 豪 1992. 農薬の分解性について—蒸留水, 河川水, 海水中での分解性の比較—. 三重環境科学センター研報 12:26-30.
6. 小林 嵩・品川昭夫・市来征勝 1968. 南西諸島の土壌に関する研究:3. 沖永良部島, 与論島および喜界島の土壌の一般理化学的性質について. 鹿児島大農学報 18:93-131.
7. 丸 諭 1990. 水田用ライシメーターからの農薬流出と水溶解度の関係. 日農薬誌 15:385-394.
8. 宮古島地下水水質保全対策協議会 1992. 平成3年度宮古島地下水水質保全調査報告. 1-103.
9. 永井 茂・吉川 清志 1991. 地下水汚染の水文化的研究(6)—井戸構造と水質の関係—. 日本地下水学会 1991年度秋季講演会講演要旨. 182-185.

10. 中川久夫 1967. 奄美群島 徳之島・沖永良部島・与論島・喜界島の地質 (1). 東北大地質古生物研邦報 63: 1-39.
 11. 米国環境保護庁 1994. 飲料水中の各種化学物質の健康影響評価 (III 農薬) -健康に関する勧告集-. 日本水道協会. 1-651.
 12. 田瀬則雄・佐伯明義・伏脇裕一 1989. 浅間山北麓における殺菌剤 PCNB による地下水汚染. 地下水学会誌 31: 31-37.
 13. 田代 豊・谷山鉄郎 1994. 沖永良部島における農業形態と地下水の硝酸態窒素濃度の分布. 熱帯農業 38: 202-206.
 14. 田代 豊・谷山鉄郎 1995. 沖永良部島のサンゴ石灰岩地域における集約的畑作と地下水硝酸態窒素の動態. 熱帯農業 39: 82-88.
 15. 寺尾 宏・梶川正勝・森下有輝・加藤喜久雄 1984. 岐阜県南西部における地下水の臭化物イオン濃度および Br/Cl 比. 地球化学 18: 21-28.
 16. 富森聡子・長屋祐一・谷山鉄郎 1994. ゴルフ場排水の農薬・肥料成分による水質汚染. 日作紀 63: 442-451.
 17. 結田康一・駒村美佐子 1986. 含臭素農薬と肥料由来臭素の作物と土壌への残留および地下水への影響. 農環研報 3: 1-21.
-