

農薬の土壤微生物に及ぼす影響 — 除草剤と微生物相を中心に —

東北大学農学研究所 佐藤 匡

1. はじめに

多くの農薬が、農業生産の発展とその安定的な推移に、大きく貢献して来たことは、多くの人の認めるところであろう。とくに、除草剤は農業労働を軽減し、さらに、水稻の直播栽培などにみられるように、農業技術の変革をも導いたといえよう。このように、農業従事者からの要請と、農業の生産性を他の産業のそれに並べられるようにするといった社会的な要請がそうさせたのであろうか、農薬の中でも、特に除草剤の生産と使用は1960年代に入って急速な伸びをみせている^{1,2)}。これは、きわめて注目すべき現象である。

ところで、農薬の使用量の増大は、農耕地ばかりでなく環境全般の汚染問題を引き起こしている。そこで、こういった社会的問題に対応すべく、新しい農薬の開発が絶えず試みられている。除草剤の多くは、植物に対する薬理作用に基づいて開発が行なわれている。それら薬理作用の中には、光合成の阻害といった植物に特有なものもあるが、生物の生活作用全般に広く影響を与えるとみなされる働きも多い³⁾。したがって、農耕地などを中心に、土壤に直接散布された農薬は勿論のこと、作物の茎葉に散布されたそれらにしても、残余の部分が風雨などによって離脱して、終局的にたどりつく土壤に生息している他の生物に対しても、それぞれの影響

を及ぼすことは充分考えられる。

土壤中の農薬の動向に関しては、その安全評価と直接結びついているために、分析方法や手段の開発と相俟ってかなり研究が進んでいる。そして、その一つの側面としての土壤中における分解も、非生物、生物的なものを含めて数多く検討されており、分解に関与する微生物の検出や、それらによる分解経路の決定も行なわれている。それに比べて、土壤微生物に対する農薬の影響に関する研究は決して多いとは云えない。それは、開発される農薬の種類が多様であることと共に、土壤微生物研究それ自体の困難さに原因があると思われる。農薬の土壤微生物に対する影響を問題とする場合、微生物の作用と、それら作用と環境との相互関係のもとで影響をうけるであろうマイクロフロラの変化との二つの面がある。この中で研究の困難さは、とくにマイクロフロラの変化を扱う場合に強く感じられるようである。そのために、それら研究の中には、一例報告的なものが多く、そこから統一적인見解を引き出すことが困難でさえある。

土壤中における農薬——とくに除草剤について——の微生物分解と、農薬の微生物作用に対する影響に関しては、すでに本誌で紹介してある^{4,5)}。そこで、本稿では除草剤を中心にして、農薬の土壤微生物相に及ぼす影響に関するいくつかの研究を紹介し、今後の問題点の二、三に

ついて触れることにしたい。

2. 土壌中の微生物相——細菌相を中心に——

2-1. 土壌中の微生物相、とくに細菌相の変化をめぐって

古くから土壌は微生物の宝庫といわれるように、原生動物、藻類、糸状菌、放線菌、および細菌などが、おびただしい数で生息している(表1)⁶⁾。そして、それらは、それぞれ多様な種類

表 1. ある肥沃な農地土壌 1 g あたりの生物数⁶⁾

細菌	15,000,000
放線菌	700,000
糸状菌	400,000
ソウ類	50,000
原生動物	30,000

から構成されている。ところが、これらのことは、多くの実験の中でみとめられた現象にもとづいて総括的にいわれているだけのことであり、残念ながらそれらの数や種類の正確な知識を現在のところ持てない状況にある。現在まで土壌から分離され、その種類が明らかになっているのは、糸状菌については、GILMAN によれば約 600 余種⁷⁾、細菌については BERGEY の manual の記載によれば約 250 種ほどである⁸⁾。また、放線菌についても、その種類の約半数程度が土壌生息種とみなされている。

ところで、これら多くの種類の土壌中の微生物は、その生息数や生息種が、土壌の条件や、土壌型、地帯、土壌の層位などのちがいによってことなことが知られている。また、一日の時間のちがい、季節のちがいによっても変化することが知られている^{9,10)}。

たとえば、土壌成帯による *Bacillus* 属の種の分布について検討した MISHOUSTIN の結果¹¹⁾は、表 2 のように示されている。この分布に対する彼の解釈は、以下のようである。すなわち、北

表 2. 土壌成帯による *Bacillus* の種のちがい

		ツ ン ド ラ	タ イ ガ	森 林 ・ 混 草 地 帯	ス テ ッ プ	乾 燥 草 原	砂 漠
<i>Bacillus</i> の 種の構成 (%)	<i>B. agglomeratus</i>	50	50	26	4	10	8
	<i>B. asterosporus</i>						
	<i>B. mycoides</i>	0	4	10	0	0	0
	<i>B. cereus</i>	0	25	20	4	6	6
	<i>B. virgus</i>	0	12.5	37	0	0	0
	<i>B. idosus</i>	0	4	0	64	33	40
	<i>B. megaterium</i>	0	0	0	17	16	26
	<i>B. subtilis</i> , <i>B. mesentericus</i>	0	0	0	0	2	8

部地域のツンドラやタイガでは、有機物の分解がおこりにくいために、有機窒素をよく利用する *Bacillus agglomeratus* や *B. asterosporus* が優占する。これに対して、ステップやサバンナなどでは、有機物の分解にともなう窒素の無機化がおこり、アンモニアが生成する。そのために、ここではアンモニアを利用する *B. idosus* や *B. megaterium* などが優占するということである。このような解釈は、それなりの合理性をもつと考えられる。しかし、このような微生物相の構成パターンに対して、こういった解釈が一般化できるようになるには、研究の蓄積が少ないのが現状である。

根圏土壌と非根圏土壌の細菌相について、それらの植物生育環境との関連を探るために数多く検討されている。そして、両土壌の細菌相の特徴とちがいについての一般化の試みもなされているが、或る特定の種の優占のちがいについての解釈を除けば、それ程明らかになっていないといえる^{12,13)}。その他、森林¹⁴⁾・畑地¹⁵⁾などの細菌相について検討が行なわれているが、

表 3¹⁵⁾の畑地についてのグラム陰性細菌相にみられるように、*Pseudomonas*属の比較的多い

ことが知られている。また、グラム陽性細菌にあっては*Bacillus*属が多い。一方、水田土壌

表 3. 畑地土壌のグラム陰性細菌¹⁵⁾

	非 根 圏 土 壌*			根 圏 土 壌*		
	分離源の 試料数	構成割合 [†] の変動	構成割合 [†] の平均	分離源の 試料数	構成割合 [†] の変動	構成割合 [†] の平均
Total						
Gram-negative organism	26	2 - 32	7	26	7 - 41	20
<i>Pseudomonas</i>	26	4 - 79	48	26	15 - 84	51
<i>Pseudomonas A</i>	17	6 - 25	11	7	8 - 49	6
<i>Pseudomonas B</i>	15	10 - 47	20	11	7 - 65	11
<i>Xanthomonas</i>	8	6 - 19	4	15	2 - 25	6
<i>Chromobacterium</i>	3	20 - 40	4	2	10 - 16	1
<i>Agrobacterium</i>	0	—	—	6	18 - 35	7
<i>Flavobacterium</i>	0	—	—	1	8	<1
<i>Achromobacter</i>	10	9 - 32	7	11	8 - 36	4
<i>Alcaligenes</i>	0	—	—	9	4 - 65	5
<i>Aeromonas</i>	0	—	—	3	8 - 11	1
<i>Aerobacter</i>	0	—	—	2	1 - 24	1
<i>Bacterium herbicola</i>	0	—	—	1	1	<1
<i>Cytophaga</i>	15	2 - 29	6	13	2 - 24	6

* それぞれ26試料が検討された。

† 全グラム陰性細菌は全細菌の百分率として表わされた。またグラム陰性細菌群は全グラム陰性細菌の百分率として表わされた。

表 4. 水田土壌の細菌相の変化¹⁶⁾

グループ	細 菌	月 ・ 日			全菌 株数
		5.15	6.18	6.30	
II b	<i>Achromobacter Moraxella</i>	1	2	1	4
II c	<i>Alcaligenes Achromobacter</i>	9	1	0	10
II d	<i>Acinetobacter Achromobacter</i>	10	10	15	35
III b	<i>Achromobacter ?</i>	4	2	1	7
III d	<i>Erwinia Achromobacter</i>	9	3	2	14
IV	<i>Flavobacterium</i>	9	6	14	29
V	<i>Flavobacterium Erwinia</i>	7	7	14	18
Actinomycetales		3	2	5	10
全 菌 株		52	33	42	127

(グラム陰性菌)

グループ	細 菌	月 ・ 日			全菌 株数
		5.15	6.07	6.28	
I	<i>Bacillus</i>	15	10	2	27
III a	<i>Arthrobacter</i>	7	6	24	37
III b	<i>Arthrobacter Corynebacterium Brevibacterium Microbacterium Kurthia</i>	9	9	6	24
III c	<i>Brevibacterium Kurthia</i>	8	5	6	19
Actinomycetales		2	1	0	3
全 菌 株		41	31	38	110

(グラム陽性菌)

象がとらえられるようになるだろう。しかし、その存立や変動の要因と土壌の条件との関連性

について午越らは、東北大学農学研究所附属農場の水田土壌中には、*Bacillus*属、*coryneform* bacteria および *Acinetobacter*属などが優占していることを見出している(表 4)¹⁶⁾。同じような傾向は、他の水田土壌について ASA-ZUMA らによっても見出されている¹⁷⁾。このように、土壌中のマイクロフロラの構成に関して、研究が蓄積されるにつれて、土壌の情況との間で一般化できる現

をつきとめ、ミクロフロラの内容に生態的な意義付けをするということになると、まだまだミクロフロラそのものの記載的な研究が少ない。そして、同時に新しい研究の方法論を探り出す必要が指摘される。そのためにも、特に細菌にあっては、その基本となる種の識別の合理的な方法の検討と、技法の開発が待たれるところである。

2-2. 微生物、とくに細菌の種の識別をめぐる

前述したように、土壤中のミクロフロラを描き出すためには、そこに存在する微生物の種を明らかにしなければならない。しかし、微生物の種の決定には多くの問題がある。時には、人によってその不可欠な手続きである分類法にちがいのことがある。このことは、とくに細菌でいちじるしい傾向にある。土壤中の細菌の種類に比べて糸状菌の種類が多く記載されているのも、前者の識別が後者のそれに比べて難しいことによるのかも知れない。細菌種の決定が困難であることは、以下のことからもうかがい知ることができる。すなわち、細菌種の同定のための指針として、世界的に広く使用されている有名な BERGEY の manual でも、版をかさねるたびに旧版にあった属・種などが消えて、新しいものが現われたり、一部の種が他の属に移るなどの状況がみられている¹⁸⁾。また、七版が出版されてから八版が出版されるまで実に17年も経過している。初版が1923年、二版が1925年、三版が1930年、四版が1934年、五版が1939年、六版が1948年、七版が1957年にそれぞれ出版されている。五版までは2～5年の間隔で出版されているが、これは文字通り新しく発見されたものの追加といった形で版が改められている。それに対して、六版では生理生化学的性格

の組み込み、七版では生態的側面の組み込みが行なわれ、それにともなって属名、種名などの変更と組みかえが必要になった。そのために、それまでの版に比べて刊行に時間を必要とした。さらに八版に至ると、ようやく発展しはじめた分子レベルの種の性格の研究が導入されるようになる。すなわち、遺伝物質のDNAの塩基組成の研究が細菌種との関連で研究された。そして、グアニンとシトシンの比(GC含量)を、他の手段で類別された細菌の種類と相関があったり、さらに、類別化された種類をさらに分割して行く際にある程度の合理性をもって役立つことなどが見出された。そこで、八版では種の記載にGC含量も加えられ、また、GC含量からみて不合理なものの属種の改廃新設などが行なわれた。そのために、新版の刊行までにきわめて長い年月を必要とした。

このように、細菌の種の記載は他の生物のように新種の追加記載だけでは済まず、時には組み合わせの改変を必要とする。すると、分類体系も部分的に変わることになり、実際の同定のための手続きも変えなければならなくなる。以上、細菌の分類それ自体が大きな問題をかかえていることが解るであろう。

さらに、土壤中には細菌の検出法に特殊な工夫をすることによってはじめて分離されるものや¹⁹⁾、直接顕微鏡で観察される形態の微生物が仲々分離されない²⁰⁾、といったこともある。したがって、土壤中にはわれわれにとって未知の微生物種が、数多く存在すると断言してもよいだろう。この一つの証拠として寒天平板培地に生育させるといった間接的方法で計測される細菌数と、土壤を直接顕微鏡で観察計測した場合のそれとの間には、約100倍から1000倍の差があることはよく知られている。直接顕微鏡観察

で得られた細菌数が、死細菌数をも含んでいることは充分考えられるが、土壌中にはわれわれが培養といった間接的手段で得ている細菌数に比べて、少なくとも数十倍生息していると考えてよいだろう。

表 5. 土壌の部分殺菌効果²¹⁾

処 理	細 菌 数 (乾 土 1 g 当 たり)			9 日間に生成したアンモニア (乾土当たり) ppm
	処理直後	9 日 後	9 日間の増加	
未 処 理	6,693,000	9,814,000	3,121,000	0.7
トルエン処理	2,608,000	40,620,000	38,012,000	17.1
熱 処 理	393	6,294,100	6,291,000	3.2

ところで、とらえた微生物、とくに数も多く種類も多様な細菌について、実際にその分類学的位置を決める、つまり同定を行なうことは、それ程容易ではない。一つの菌株について、形態学的、細胞学的、生理学的、生化学的などの諸性質をいくつかの側面から検査し、それら性質の組み合わせにもとづいてはじめて種が決定される。この場合、菌株によっては記載されている種にうまく符合しなくて、同定が不可能なものも出て来る。こういった事情は、土壌から分離される細菌についてよく経験するところである。さらに、マイクロフロラを問題とする場合には、数百ないし千数百の菌株を検討対象とする必要がある。したがって、農薬その他の環境条件との対応でマイクロフロラの変化を問題とする場合には、一つの便法として純分類学的範囲以外の表現方法を工夫することも考えなければならないだろう。

3. 部分殺菌効果

土壌をトルエンや熱によって殺菌すると、非殺菌土壌に比べて、はじめ細菌数の一時的な減少がおこる。しかし、時間が経過するにつれて、殺菌土壌の細菌数は非殺菌土壌のそれをはるかに凌駕するようになる。そして、同時に窒素の無機化 (アンモニア生成量の増加) もきわめて大きくなる (表 5) ²¹⁾。これは、RUSSELL らによって見出された余りにも有名な現象である。すなわち、土壌に生物活動を静止ないし殺滅さ

せるよう処理をほどこしたときの、土壌中の微生物的過程の変化を描いた最初の仕事といえよう。この現象は、部分殺菌効果 (partial sterilization effect) とよばれるようになり、その微生物的過程の変化の原因について、多くの問題を提起している。

部分殺菌効果と呼ばれるこの現象の特徴は、表 5 にも示されているように、殺菌処理後の細菌数の一時的減少に引き続く急激な増加、また、殺菌処理方法のちがいによる細菌数増加のちがいと、そのマイクロフロラのちがいであろう。また、アンモニア量の増加とその後の硝化過程の阻害であろう。この現象の中でもっとも大きな問題は、殺菌土壌で非殺菌土壌より何故細菌数が多くなるかということであった。そこで、彼らはこの解明をはかるために、いろいろの試みを行なった。その結果、殺菌土壌では細菌が殺滅されるが、それはすべての種類が完全に殺滅されるのではなく、むしろ細菌の増殖を抑制している何らかの因子が、殺菌処理によって活動を停止させられるとした。そして、その因子を原生動物と考えたのである。すなわち、原生動物や硝化過程の担い手である微生物は完全に殺滅されるが、一部の細菌は生き残ること、つまり部分殺菌という表現となった訳である。

その後、部分殺菌効果には必ずしも原生動物説のみによっては満足に説明されない現象が見出され、いろいろの説明が試みられている。それらについて JENKINSON²²⁾ は、原生動物説的

考え方も入れながら、いくつかの考え方をまとめている。第1は、殺菌処理によって微生物活動を阻害している因子を消去する（これには、原生動物説的考え方が入っている）。第2は、特にトルエンのような有機溶媒としての性格をもった薬剤によって処理されると、微生物の基質となる有機物がむき出しになり、生き残った微生物によって利用されやすくなる。第3は、薬剤によって死滅した菌体成分が、生き残った微生物によって利用される。大ざっぱに記すと、以上ようになる。しかし、後述するように、実際にはこれらが相互にからみ合った結果として生ずると考えるのが正しいと思われる。

RUSSELLらによって見出されたこの現象は、その後のさまざまな研究を通じて、単に薬剤と土壌中の微生物の動態といった関係の問題だけにとどまることなく、土壌中の微生物群の相互関連性といった生態的研究へと発展していった。しかし、はじめに見出された部分殺菌効果の現象と、それをめぐる原因の解釈は、農薬によって惹き起こされるであろう土壌中の微生物の変動の様相をとらえ、その要因を追究する上で重要な基盤を提起していると考えることができよう。

4. 農薬と土壌微生物相

土壌は種々の微生物による多様な相互作用によって、その場に対応した動的平衡状態を保っていることはよく知られている。動的平衡状態の維持は、他からの刺激に対する土壌の緩衡作用の現われを意味する。緩衡作用は、安定した生態系を保つ上できわめて重要である。土壌生態系の乱れは、例えば農業の面からみると、作物生産に重大な影響を与えることにもなりかねない。連作障害——忌地——といった問題は、

その一つといえよう。

ところで、前項で述べた“部分殺菌効果”は、ある面では土壌中の微生物の生活作用の平衡状態からのずれと共通する現象を呈する。したがって、それは土壌生態系の乱れを意味するといえよう。多くの農薬が土壌微生物の生存や生活作用に、いかなる影響を持つかといった関心も、こういったことが最大の契機となっている。すなわち、換言すれば、農薬と土壌微生物の生態との関係が問題となっているといえよう。そこで、具体的には土壌微生物の生態を探ることが課題となる。土壌微生物の生態を探る場合、その方法にはさまざまな方向と段階がある。しかし、それらの中で重要な方向の一つは、その実体の変化を把握することであろう。つまり、微生物数や微生物種を明らかにすることである。

ところが、農薬にかぎらず環境に加えられたインパクトとの関係を問題にした場合のこの面の研究は、それ程多いとはいえない。それは、すでに2-2の項で述べたような事情や、さらに、農薬投与によって何らかのひずみが見出されたとしても、その解釈が困難であるためと考えられる。土壌微生物への影響の有無やその強弱の差は、多くの農薬が農業生産の場で使用されることもあって、すでに本誌で紹介したように、微生物作用、特に窒素代謝との関連性で行なわれた研究が多い⁵⁾。

4-1. 土壌微生物数の変化

RUSSELLらの部分殺菌効果の現象と同じように、農薬が土壌に投入されると多くの場合、微生物数に何らかの変化のおこることが知られている。しかし、それらの変化の内容についてはさまざまな報告があり、統一的にそれらを整理することは困難な現状にあるといえよう。

例えば、vapamは放線菌の生育を促すが、

他の微生物の生育は抑制する。また、captanは細菌以外の微生物の生育を阻害するが、nabamは糸状菌だけを阻害するといった報告がある²³⁾。

有機リン殺虫剤の一つであるdiazinonは、放線菌数を増加させ、細菌数にはほとんど影響を与えないが、わずかに増加させるかであるが、逆に糸状菌数を減少させることも知られている²⁴⁾。一方、有機塩素系の

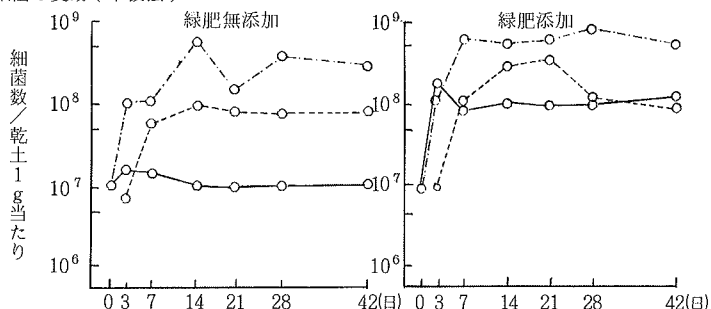
除草剤PCPによって、放線菌数がいちじるしくおさえられるといった例もある²⁵⁾。

このように、薬剤の種類によって土壤中の微生物数の変化に対する作用は多様である。これは、恐らく農薬自身の薬理作用のちがいと、それに対する各種微生物の反応の結果もたらされたものと、第一義的には考えられる。しかし、この面の研究(農薬の薬理作用を通して土壌生息の微生物数の変化を探るといった研究)は、特殊な微生物を対象とした例——例えば植物病原菌と殺菌剤の関係——を除くと皆無に近いといえる。

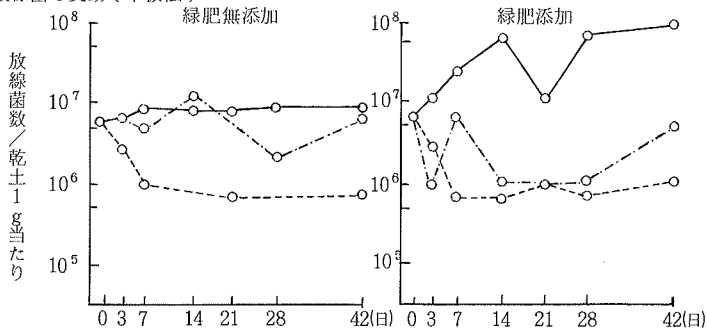
農薬の土壤中の微生物の動向に対する作用は、基本的には上述したような要因がからんでいるものといえるが、共存するさまざまな条件によってもことなる現

われ方をする。それらには、土性²⁵⁾、土壌条件^{26, 27, 28)}、施肥条件²⁵⁾、気象条件²⁹⁾、農薬の形状^{30, 31)}などがある。PCPを緑肥添加区と無添加区に投与し、その時の細菌数、放線菌数、糸状菌数の変動を追跡した例を図1に示した²⁵⁾。緑肥無添加の場合には、細菌の増殖に対するPCPの効果は、みかけ上きわめて顕著にあらわれた。これは、緑肥添加区ではPCP無投与で

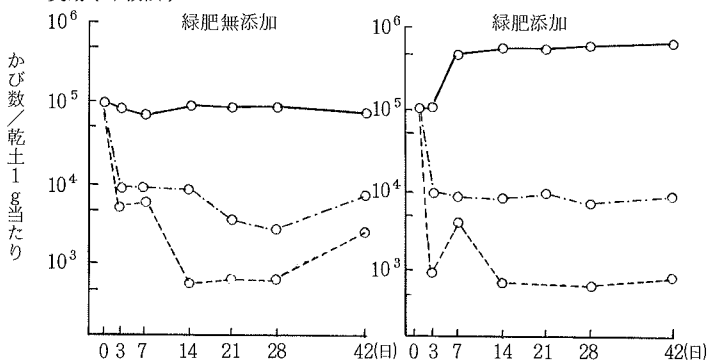
細菌の変動(平板法)



放線菌の変動(平板法)



かびの変動(平板法)



—: 対照 - - - : PCP-Na少量(1000ppm) : PCP-Na多量(5000ppm)

図1. PCPの微生物群変動に及ぼす影響と緑肥添加の効果²⁵⁾

も、細菌の増殖がきわめてよくおこるためであろう。しかし、その差のあらわれ方のちがいはあるにしろ、PCPは細菌の増殖に対して促進的に働くことがわかる。ただ、PCP多量投与区では、はじめの増殖がおさえられるようであった。このような現象は、PCPを投与した土壤懸濁液系を用いた研究においても観察されている(図2)³²⁾。これは、はじめに生息してい

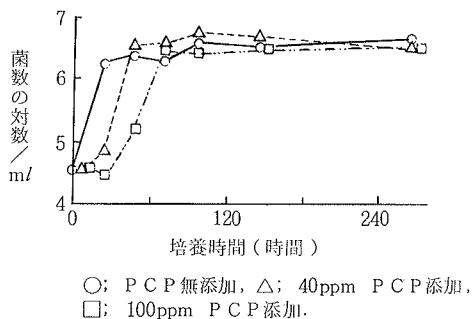


図2. 土壤懸濁液中の好気性細菌数³²⁾

る細菌の中に、高濃度のPCPに対して抵抗できないものがあつたのに、時間経過ともなって順次PCPに馴脱したり、抵抗性を有する細菌などが選択をうけて増殖した結果と考えられる。放線菌数

は、緑肥添加の如何を問わずPCPによって減少させられた。しかし、放線菌数は、緑肥無添加区でPCPが少量投与であると、減少度合が小さいという違いがあつた。さらに、糸状菌数の変化については、PCPによる阻害は緑肥添加の如何にかかわらず、同じように現われた。このように、その存在条件によって、微生物数の変動は微生物の種類に応じて、ことなる現われ方をすることがわかる。

この例は、農薬 $\longleftrightarrow$ 土壤条件 $\longleftrightarrow$ 微生物種の

相互関係のもとに、それぞれの微生物数が変動することを示している。この他、微生物数の変動は、農薬に対する2種類の微生物の、相互作用の結果としてあらわれることもある³³⁾。atrazineを畑に施用すると、小麦作後の畑では、はじめに細菌の増殖がおこり、次いで糸状菌の増殖が惹き起こされる(図3)。このことは、はじめatrazineは細菌により分解をうけ、これを基質として生育しうる細菌が、そして、atrazineに阻害をうける細菌との競合のなくなった細菌が、相伴って増殖し、次いでatrazineに弱い糸状菌が、atrazineの消失に伴って増殖したことを示すものと考えられる。つまり、農薬 $\longleftrightarrow$ 細菌 $\longleftrightarrow$ 糸状菌という、農薬をめぐっての2種類の微生物のからみ合いの結果としてあらわれた微生物数の変動といえよう。

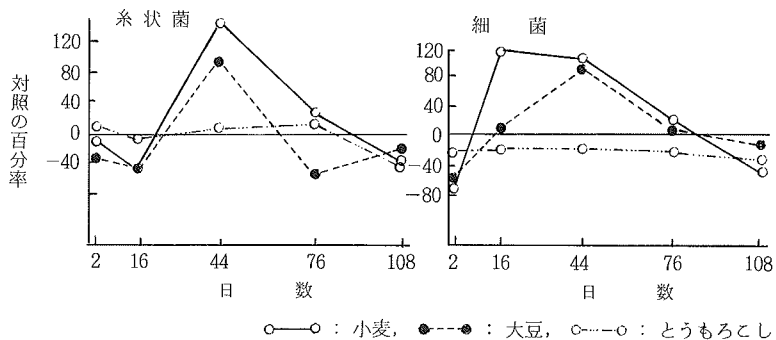
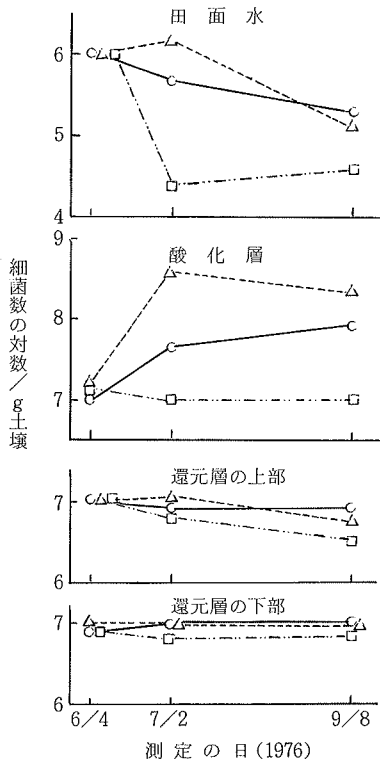


図3. 各種作物圃場にatrazineを施用したときの細菌数および糸状菌数の変化³³⁾

また、作物の種類によって、ことなるあらわれ方をするのは、緑肥の場合にみられるような共存条件のからみと共通すると思われ、きわめて多様なあらわれ方を示している。

以上は、畑地または畑条件による研究例であるが、わが国の耕地面積の大部分を占める水田または湛水条件での微生物数の変動に関する研究になると大変少ない。

加藤らは²⁶⁾、コンクリートポット湛水土壤に、PCPを表面散布した場合の細菌数の変化を追

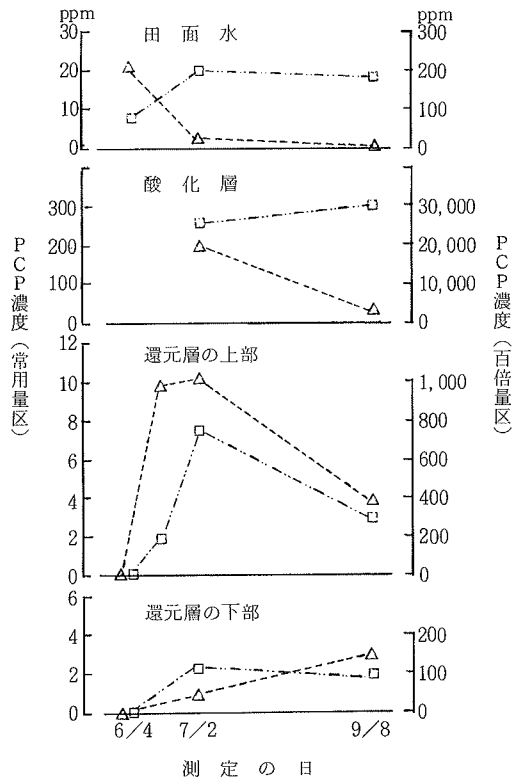


PCPを6月4日に湛水土壌の表面から散布した
△; 常用量, □; 百倍量, ○; 無添加.

図4. 各土壌における細菌数の変化⁶⁾

跡した。その結果は、酸化層と還元層に土層分化をする水田土壌では、各層位によって細菌数の変化はことなるあらわれ方をすることがみとめられた(図4)。これは、各層位毎のPCP量の変化を検討した結果(図5)とつぎ合わせると、PCPの推移と関連していると推察される。ただ、後述するように、余り大きな細菌数変動がとらえられなかった還元層上部でも、その細菌相は変化した。留意すべき問題であろう。

水田圃場について甲斐らは³⁴⁾、数種類の除草剤(paraquat, chlomethoxynil, benthicarb)を施用したときの、各種微生物数の季節変動を調査している。その酸化層についての結果を図6、7に示した。微生物数の変動に及ぼす除草剤の影響には、微生物の種類と薬剤の



PCPを6月4日に湛水土壌の表面から散布した。
△; 常用量, □; 百倍量, ○; 無添加.

図5. PCP量の変化²⁶⁾

種類、およびサンプリング時期によって、比較的明らかな場合と有意差の認められない場合がある。すなわち、糸状菌数は除草剤施用によりやや増加した。そして、全期間を通じてchlomethoxynil区の糸状菌数は、対照区より僅かながら多かった。一方、放線菌数、全細菌数、およびグラム陰性細菌数は、除草剤により一時減少した。とくに、benthicarb区およびchlomethoxynil区的全細菌数はかなり減少した。また、paraquat区の放線菌数およびグラム陰性細菌数は、概して少なかった。嫌気性菌数も、初期は、除草剤区で対照区より少なかった。また、セルロース分解菌数も、概して除草剤区で少なかった。とくに、paraquat区のセルロース分解菌数は、除草剤施用直後にかなり

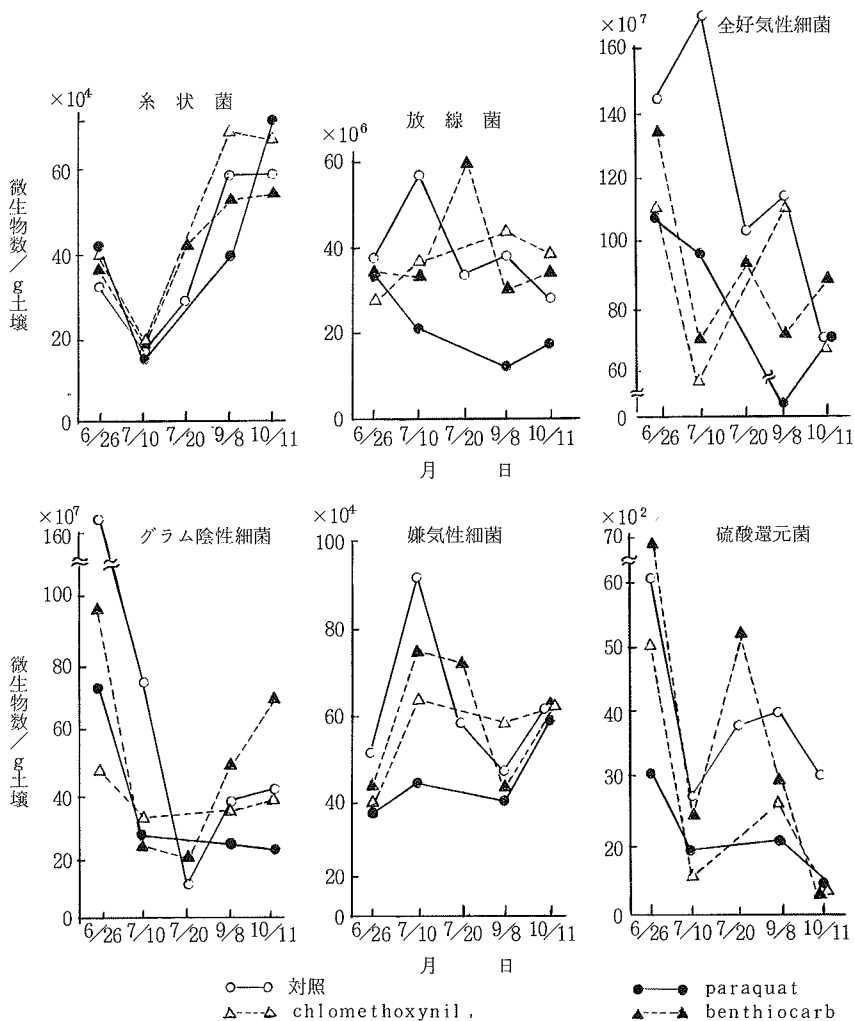


図 6. 水田の各種微生物フロラに及ぼす除草剤施用の影響 (0~1cm) (1978)-1³⁴⁾

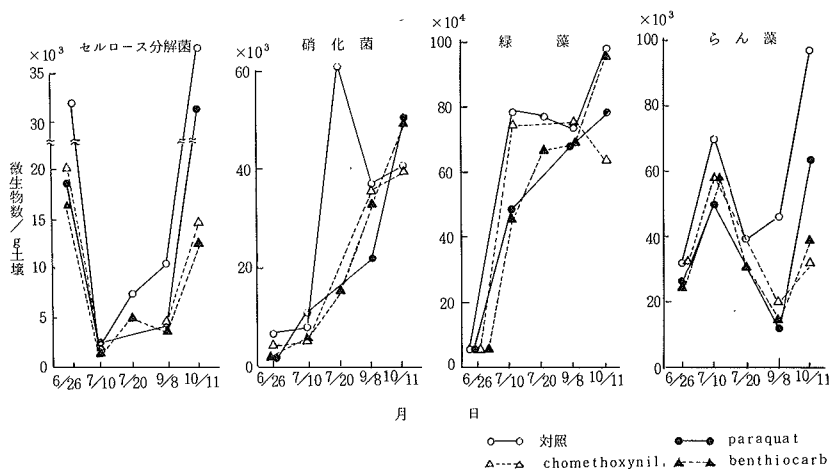


図 7. 水田の各種微生物フロラに及ぼす除草剤の影響 (0~1cm) (1978)-2³⁴⁾

減少した。硫酸還元菌数は、中期まで benthicarb 区でやや多かった。その他、硝化菌、緑藻、らん藻などの菌数は、いずれも除草剤区でやや少ない傾向にあった。

このように、圃場段階における微生物の変動を明確にとらえることは仲々容易ではない。労作の多いくりかえしの調査は、現場の現象を描き出す上で

重要であろう。それと共に、影響の強弱の評価と、影響の有無を明確にとらえ得る方法を探り出すことが必要である。

4-2. 土壤微生物相の変化

前項でも触れたように、この面の研究になると、研究事例を探し出すことすら困難な現状にある。その主な理由と思われることについてはすでに述べた。それらの中であって、糸状菌や藻類などについて、属段階での調査結果が散見される。これらは、いずれも主に形態的所見に基づいて同定が可能なグループである。主な理由として挙げたことと、相通ずることを物語っているのかも知れない。

VRANY は、MCPA を小麦に葉面散布したとき、小麦の根圏土壤の糸状菌の組成に変化のおこることを見出している³⁵⁾。すなわち、*Penicillium* 属や *Trichoderma* 属は、MCPA 投与により減少

するが、*Fusarium* 属や他の二、三の種類は増加した(表6)。

ミカン園土壤に

き、対照区に比べて *Fusarium* 属の *Penicillium*, *Aspergillus*, および *Mucor* 属に対する比率が増加する傾向のあることも見出されている(表7)³⁶⁾。その他、土壤中におけるセルロース分解に対する Benomyl の影響を、糸状菌フロアの変化と関連させながら調査した研究例もあり³⁷⁾、物質の変化をマイクロフロアを同時に追跡した貴重な研究といえる。

さらに秋山は、水田圃場での藻類の種類組成の変化と、数種類の除草剤施用との関係を検討している(表8)³⁸⁾。表にみられるように、MCPA 以外の除草剤は藻類の種類組成を単純にする傾向がある。同じように、藻類の種類組成が単純化されることは、KLUGLOW らによって

表6. MCP を小麦葉面散布した際の根圏土壤の糸状菌フロア(%)³⁵⁾

	尿 素	MCPA	根 圏 土 壤	非根圏土壤
<i>Penicillium</i>	65.9	50.1	66.4	36.9
<i>Fusarium</i>	11.8	3.2	5.6	6
<i>Trichoderma</i>	1.9	1.6	3.6	4.6
<i>Myc. sterilia</i> (dark)	5.5	8.9	5.3	7.1
そ の 他	14.9	31.2	19.1	45.4

表7. 除草剤の連用が土壤の糸状菌相に及ぼす影響* (唐津土壤, 1977. 5. 9)³⁶⁾
(平板上のコロニーの百分率)

		<i>Penicillium</i>	<i>Fusarium</i>	<i>Aspergillus</i>	<i>Rhizopus</i>	<i>Trichoderma</i>	その他1	その他2	その他3
対照区	I	35.71	14.29	0	0	0	35.71	14.29	0
	II	76.47	0	5.88	11.77	0	0	5.88	0
	III	50.00	5.05	10.00	5.00	10.00	0	5.00	15.00
	IV	43.75	18.75	0	0	0	6.25	6.25	25.00
	平均	51.48	9.52	3.97	0	2.50	10.49	7.86	0
連用区	I	26.83	68.29	4.88	0	0	0	0	0
	II	43.33	33.33	3.33	0	0	10.00	10.00	0
	III	10.00	63.33	23.33	0	3.33	0	0	0
	IV	38.89	55.56	5.56	0	0	0	0	0
	平均	29.76	55.13	9.28	0	0.83	2.50	2.50	0

* 唐津土壤(1977年5月9日)の表層(0~3cm)について。

糸状菌の総数(個/g乾土): 対照区 7.84×10^5 , 連用区 19.13×10^5

(細菌+放線菌)数/糸状菌数: 対照区 318, 連用区 115

について、paraquat, bromacilを連用したとき atrazineを施用したときにみとめられてい

表 8. 水田土壌の藻類フロラの変化に及ぼす種々の除草剤の影響³⁸⁾

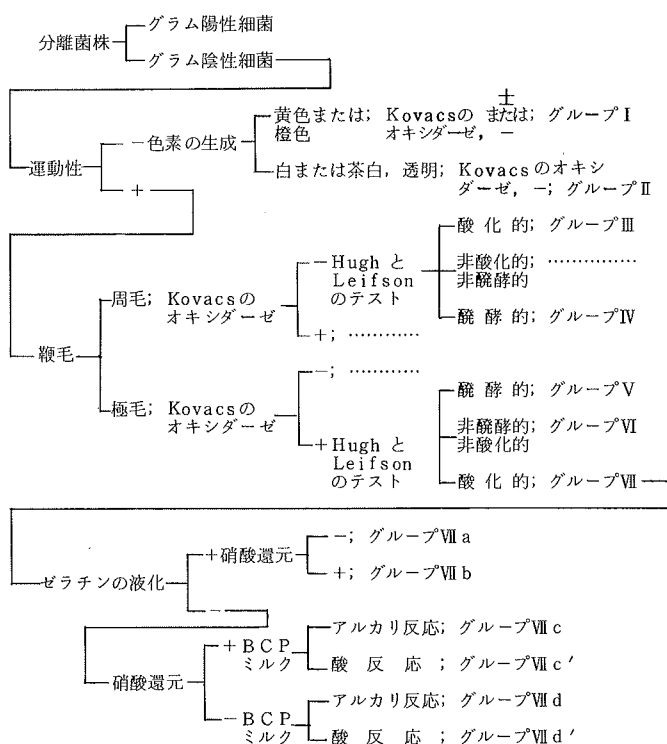
検出された藻類	対 照	MCP	CAT	NIP	DCPA	Linuron	PCP	Benthiocarb
<i>Oedogonium</i>	+	+						
<i>Klebsormidium</i>	+	+						
<i>Chlamydomonas</i>	+	+	+	+		+		+
<i>Characium</i>	+	+						
<i>Scenedesmus quad.</i>	+	+						
<i>Scenedesmus dimo.</i>	+	+						
<i>Ankistrodesmus</i>	+	+						
<i>Anabaena</i>	+	+						
<i>Phomidium</i>	+							
<i>Flagillaria</i>	+	+						
<i>Nitzschia</i>	+							
<i>Navicula</i>	+	+						
<i>Lagynion</i>	+	+						
<i>Cryptomonas</i>	+	+						
<i>Euglena</i>		+						
<i>Chlorococcum</i>						+		
種 類 数	14	13	1	1	0	2	0	1
対 照 に 対 す る 割 合	100	93	7	7	0	14	0	7

この条件では遅いとされている⁴⁴⁾で施用すると、PCPが存在しない場合に比べて細菌種の組成はきわめて単純になることが見出された(図8, 9)。しかも、これら優占した細菌はグラム陰性細菌であり、いずれもPCP共存下

る³⁹⁾。このように、薬剤によって生物相が単純化する傾向のあることは、ネマトーダなどの土壌動物や高等植物の場合にも、一般的にみとめられている。

ところで、このような現象が、土壌細菌の場合にはどうあらわれるのかは、前述した理由もあって仲々検討のむずかしい問題である。それらの中には、特定の作用能を目安にして細菌群をふり分けてその差の有無をみるとか^{40,41)}、培地の種類を変えていくつかのグループに分ける試み⁴²⁾などが二、三みうけられる程度である。そして、それを属種段階まで掘り下げるとか、その組成を成立因要との関連性で追究した研究は希有に近い。

SATO は、こういった問題に接近するために、集積培養系を用いて種の段階までの検討を行なっている⁴³⁾。PCPを好気的な条件下(PCPの分解は



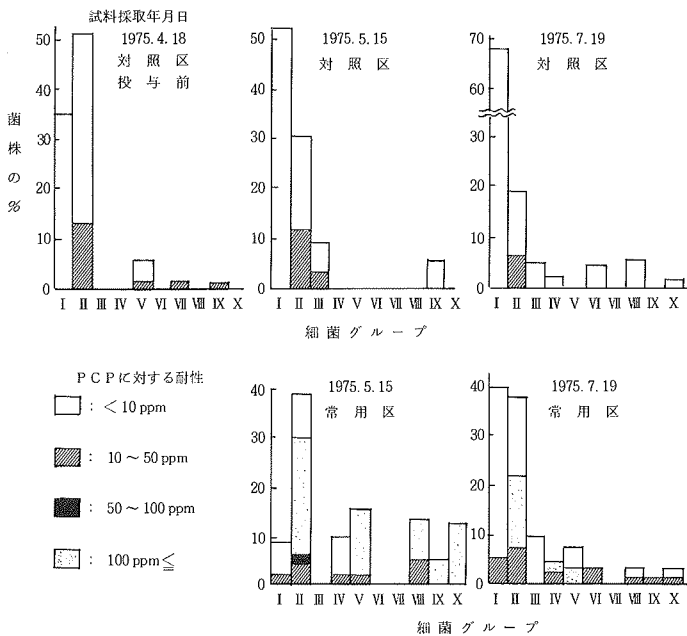
各グループの推定属名; I *Flavobacterium*, II *Acinetobacter*, III *Achromobacter*, IV *Enterobacteriaceae*, V 未同定, VI *Pseudomonas*, VII a ~ d' はVI以外の *Pseudomonas* に属するそれぞれの種。

図 8. 細菌の類別化のためのスキーム⁴³⁾

環 流	グリシン	グリシン + P C P (40ppm) 環流5日目	グリシン + P C P (40ppm) 環流15日目	P C P	水
分離菌株数	30	30	30	15	15
検定した菌株数	28	10	8	6	13
細菌群とそれぞ れの群の菌株数	V, (3) VII d, (7) VII b, (1) IV, (1) VII c, (15) VII d, (3) VII d', (5) I, (2) ?, (2)	Gram(+), (2) 死菌株 ?, (2)	III, (4) V, (1) VII c, (1) Gram(+), (2) 死菌株 ?, (2)	VI, (5) VII c', (1) ?, (9)	II, (5) VII a, (1) VII c, (2) VII c', (1) VII d, (2) V, (1) Gram(+), (1) ?, (2)

()内の数字は各グループの菌株数を表す。

図9. 環流土壌の細菌相の変化に及ぼすP C Pの影響⁴³⁾



各細菌群に推定される細菌の属名

- I) *Bacillus*
- II) *Coryne-form bacteria* (*Corynebacterium*, *Arthrobacter*, *Brevibacterium*, *Kruthia*)
- III) *Gram-positive cocci* (*Micrococcus*, *Streptococcus*, *Staphylococcus*)
- IV) *Pseudomonas* (*Pseudomonas*-1, *Pseudomonas*-2)
- V) *Pseudomonas-Alcaligenes*
- VI) *Moraxella*
- VII) *Xanthomonas*
- VIII) *Acinetobacter*

図10. 湛水土壌還元層上部のP C P投与による細菌相変動と構成細菌のP C P耐性²⁸⁾

(50~100ppm)で、他の種に比べて速く生育することも見出された⁴⁵⁾。同じような現象は、土壌懸濁液振とう培養系を用いてP C Pの影響を検討した場合にも見出されている³²⁾。このように、好気的な細菌の生育が旺盛な条件下では、グラム陰性細菌で薬剤耐性の強いものが優占すると考えられる。

さらに、湛水土壌系を用いた場合にも(前項で細菌数の変化としては差の認められなかった還元層上部で)、細菌相にみだれが生じ、薬剤投与区で優占す

るものは薬剤に耐性を有することが見出されている(図10)²⁸⁾。つまり、P C P通常量投与区では、P C P無投与区に比べグラム陽性細菌である*Bacillus*属の割合が小さくなり、代わってグラム陰性細菌の少数種が出現して来る。しかし、グラム陽性細菌の*coryneform bacteria*は優占を保っている。但し、P C P投与区で検出されるこれらの細菌は、いずれもそれらの内容はP C Pに強い耐性を有

するものとなっている。そして、湛水土壌（嫌気的条件）でPCPが分解消失する時期には、ふたたびPCP無投与区と同じ種組成にもどる傾向にある。

農薬投与によって、農薬耐性微生物数がふえる例はよく知られている^{46, 47, 49)}。しかし、具体的な微生物種と、それらが有する農薬にかかわる諸特性を関連付けることによって、はじめて農薬による土壌微生物相の変化の動因がとらえられるものと考えられる。

このことを上述の例にあてはめて考えると、以下になるであろう。すなわち、好気的土壌条件の微生物生育の旺盛な場合には、*Pseudomonas*などのグラム陰性細菌が優占する¹⁵⁾。一方、湛水土壌系のような条件下（例えば水田土壌）では、*coryneform bacteria*が優占する¹⁶⁾。そこで、このようにそれぞれの場の細菌相を第一義的に維持しながらも、農薬に耐性を有する細菌、特にグラム陰性細菌がその中に割り込むといった過程の存在することが推察される。しかし、結論的なことを導き出すまでには、未だ未だ多様な実験系でのいくつかの作用能や使用法のことなる農薬を用いた、研究結果の蓄積が必要であると思われる。

5. 農薬の連用と微生物相

農薬は、その施用によって特に問題が発見されず、有効な場合は、連用されることが多い。そこで、当然、実際問題としては連用したときの微生物相の年次変化、ないし連用後の変化が検討される必要がある。一般に、このような研究を進めるためには、個人の努力もさることながら、実験の場を維持管理するために、体制の確立が必要である。残念ながら、現今の我が国においては、この面の組織的な配慮は皆無であ

るといってよい。甲斐らの研究は、それら数少ない研究の一例といえよう^{34, 36)}。

前項の図9で示されたように、湛水土壌ではPCPの消失にともなって、細菌相が復元するかのような様相を呈した。このことは、農薬を連用するにしても次に施用するまでに、前に施用した農薬が消失していれば、微生物的には問題がないことをうかがわせるものである。しかし、細菌相としては復元化を示した時点においても、PCPに耐性を有する細菌株が存在していた。このことは、属段階で類別化を打ち切った図9の結果は、種段階でみると復元が完全でなく変化している可能性をはらんでいると考えられる。そこで、農薬連用の影響をより低次の分類段階で検討することが問題となって来る。

1982年、筆者が訪ねたレニングラードのKrUGLOWらは、atrazineを5年間連用し、細菌と糸状菌の年次毎の推移を数の変化として検討している³⁹⁾。その結果によれば、年を経るごとに両者の数は対象区のそれに近づいて行く。すなわち、数が復元化して行くというのである。その原因として、微生物が年々atrazineに耐性をもって来るためだとしている。しかし、微生物活性（CO₂発生、NO₃量の変化）は、必ずしも復元化の様相を示さなかった。一方、藻類についても数の上からみると復元化を示していた（図11）。つまり、初年目の激減から年々減少傾向が和らぎ、最終的には対象区のそれに接近するようになる。一方、このときの藻類の種類組成をみると、年々その数が少なくなっていくことがわかる（表9）。このように、量的には復元化の様相を呈しながらも、詳細な面からみるとそうならないこともある。

また、2,4-DとMCPAを20年間連用した場合、20年後の細菌相（属段階、および機能別

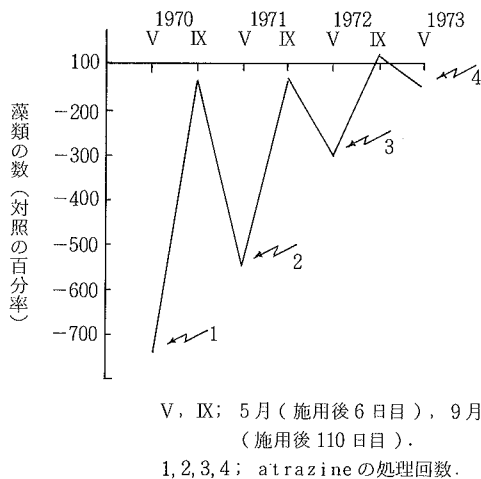


図11. atrazine連用にもなう藻類数の年次変動³⁹⁾

表9. 藻類フロラに対する atrazine 連用の影響³⁹⁾

	対 照			Atrazine		
	1	2	3 年	1	2	3 年
<i>Chlamidomonas</i> sp.	+	+	+	+	+	-
<i>Chlorococcum</i> sp.	+	+	+	+	+	+
<i>Hormidium nitens</i>	+	+	+	+	-	-
<i>Amorphonostoc punctiphorme</i>	+	+	+	+	-	-
<i>Anabaena cylindrica</i>	+	+	+	-	-	-
<i>Anabaena oscillarioides</i>	+	+	+	-	-	-
<i>Cilindrospermum licheniforme</i>	+	+	+	+	-	-
<i>Cilindrospermum muscicola</i>	+	+	+	+	-	-
<i>Phormidium autumnale</i>	+	+	+	+	+	+
<i>Phormidium curtum</i>	+	+	+	+	-	-
<i>Phormidium foveolarum</i>	+	+	+	+	-	-
<i>Navicula atomus</i>	+	+	+	+	+	+
<i>Nitzschia palea</i>	+	+	+	-	-	-
<i>Chloridella neglecta</i>	+	+	+	+	+	+

+ 藻類検出.
- 藻類非検出.

に類別したもの)は、ほとんど対照と変わらないという報告もある⁴⁰⁾。

農薬を連用した場合の微生物の動向について、何らかの考えを述べることは、研究がきわめて少ないためにむずかしい。そこで、ここでは結果の例示だけにとどめる。しかし、農薬を連用すると atrazine 連用の場合の微生物活性の推移にみとめられるように、必ずしも復元化はし

なかったことが指摘されている³⁹⁾。この原因として、生育する草量の減少と、それにとまう土壤に還元される草残渣量の減少があげられている。すなわち、 NO_3 が蓄積する方向で進むのは、草が少ないために草によって利用される無機態窒素が少ないためである。また、 CO_2 発生量が低下するのは、土壤に還元される植物残渣が少なく、微生物の基質となる有機物が乏しくなるためである。このように、農薬連用の微生物に対する作用は、農薬の直接的影響の他に、農薬による雑草生育の多少といった間接的影響による場合もあろう。

湛水土壤に P C P を大量に施用すると、土壤

が固くなってくる²⁶⁾。これは、ミミズなどが死滅したためにミミズの運動による土の攪拌がなくなるためと考えられる。連用して少量ずつ蓄積した場合、こういう現象は起こり得よう。また、ミカン園に二、三種の除

草剤を連用すると、草種および草量が変わり、その結果として土壤に還元される草種と草量が変わって来る。そのために、土壤の物理化学性が変わって来ることが指摘されている³⁶⁾。これらは、恐らく土壤の微生物の生活作用に大きく影響するであろう。いずれも、農薬が間接的に微生物に影響することを示す例であろう。

こういった事情を考慮すると、農薬を連用し

た場合に農薬と微生物相変動の関係は、大きく分けて次の二つの面から追求する必要がある。すなわち、農薬の微生物に対する直接的な作用と、他の生物に対する作用の結果もたらされる土壌の理化学性の変化を通しての間接的な作用である。そして、これらの両側面は、前述したように、土壌微生物相を追跡するために必要な種々の方法論と結合させながら推進して行くことが重要であろう。

引 用 文 献

- 1) 農薬要覧編集委員会編：農薬要覧，日本植物防疫協会，520（1972）.
- 2) 農林省肥料機械課監修：ポケット肥料要覧，農林統計協会，315（1973）.
- 3) 松中昭一：植物毒理学入門，東京大学出版会，8～66（1976）.
- 4) 佐藤 匡：植調，**18**，No. 2，7～18（1984）.
- 5) 佐藤 匡：植調，**19**，No. 6，2～17（1985）.
- 6) Burges, A. : Microorganisms in the soil, 高井康雄ら訳：土壌微生物，58～59（1960）.
- 7) Gilman, J. C. : A manual of soil fungi, Iowa（1945）.
- 8) Breed, R. S. et al (ed) : Bergey's Manual of Determinative Bacteriology, 7th ed.（1957）.
- 9) Taylor, C. B. : Proc. Roy. Soc. B., **119**, 269（1936）.
- 10) 津山博之：東北大農研報告，**13**，221～345（1962）.
- 11) Mishoustin, E. N. : Ann. l'inst. Pasteur, **107**, 63（1964）.
- 12) Lochhead, A. G. et al : Proc. Soil Sci. Soc. Amer., **19**, 48～49（1955）.
- 13) Katznelson, H. et al : Canad. J. Microbiol., **3**, 265～269（1957）.
- 14) Goodfellow, M. : J. Soil Sci., **19**, 154～167（1968）.
- 15) Holding, A. J. : J. Appl. Bacteriol., **23**, 515～525（1960）.
- 16) 午越淳夫：土と微生物，**15**，16号合併号，30～38（1974）.
- 17) Asazuma, K. et al : Rep. Inst. Agric. Res. Tohoku Univ., **27**, 1～21（1976）.
- 18) Buchanan, R. E. et al(ed.) : Bergey's Manual of Determinative Bacteriology 8th ed.（1974）.
- 19) Ohat, H. et al : Soil Biol. Biochem., **15**, 1～8（1983）.
- 20) Aristovskaya, T. V. : Bull. Ecol. Res. Comm., **17**, 47～52（1973）.
- 21) Russell, E. J. et al : J. Agric. Sci., **5**, 152（1913）.
- 22) Jenkinson, D. S. : J. Soil Sci., **17**, 280～302（1966）.
- 23) Domsch, K. H. : Chem. Abstr., **53**, 20668d（1959）.
- 24) Gunner, H. B. et al : Plant and Soil, **25**, 249～264（1966）.

- 25) 松口龍彦ら：土肥誌，**39**， 241～246 (1968).
- 26) 加藤博美ら：農薬誌，**6**， 37～42 (1981).
- 27) 加藤博美ら：同上誌，**6**， 43～49 (1981).
- 28) 加藤博美ら：同上誌，**6**， 163～168 (1981).
- 29) Tu, C. M. : Canad. J. Plant Sci., **53**, 401～405 (1973).
- 30) Kecskés M. et al : Roczniki Gleboznawcze, **26**, 185～190 (1975).
- 31) 奥田 東ら：日本土肥学会大会講演要旨集 9 集 (1963).
- 32) 加藤博美ら：東北大農研報告，**32**， 1～7 (1980).
- 33) Houseworth, L. D. et al : Plant and Soil, **38**, 493～500 (1973).
- 34) 甲斐秀昭ら：「環境科学」特別研究報告集，B 8 - R 12 - 6， 107, (1980).
- 35) Vraný, J. : Trans. of the International Symposium. "The interaction of soil microflora and environmental pollution" Pulaway, **1**, 120～124 (1977).
- 36) 甲斐秀昭ら：「環境科学」集会講演要旨集，シンポジウム「農薬の土壌生物への影響」， 50 (1980).
- 37) Torstensson, N. T. L. et al : Soil Biol. Biochem., **16**, 445～452 (1984).
- 38) 秋山 優：「環境科学」特別研究報告集，B 8 - R 12 - 6， 93 (1980).
- 39) Kruglow, J. W. et al : Roczniki Glebonawcze, **26**, 158～164 (1975).
- 40) Torstensson, N. T. L. et al : Trans. of Intern. Symposium. "The Interaction of Soil Microflora and Environmental Pollutions" Pulaway, **1**, 170～176 (1977).
- 41) Voets, J. P. et al : Soil Biol. Biochem., **6**, 149～152 (1974).
- 42) Sobieszczanski, J. et al : Roczniki Gleboznawcze, **26**, 165～178 (1975).
- 43) Sato, Kyo : J. Gen. Appl. Microbiol., **31**, 197～210 (1985).
- 44) Kuwatsuka, S. et al : Soil Sci. Plant Nutr., **21**, 405～414 (1975).
- 45) 佐藤 匡ら：農化大会講演要旨集， 49 集， 228 (1974).
- 46) 高井康雄ら：文部省特定研究報告「人間存在」昭和47年度 (1973).
- 47) Van Schreven, D. A. et al : Plant and Soil, **33**, 513～532 (1970).
- 48) Kokke, R. : Antonie van Leeuwenh., **36**, 580～580 (1970).

オウトウの裂果防止について

山形県立園芸試験場 佐藤康一

山形の特産であるオウトウは、収穫期が「梅 雨」にあたるため、雨による果実品質への影響