

陸水系のバイオマスに及ぼす 農 業 の 影 響

玉川大学農学部教授 宝月欣二

このたび、本誌編集委員会から表記の課題について執筆するようとの依頼があった。筆者は、長年野外の植物、特に水中の植物の生活に関する生態学的な研究にたずさわってきた者であり、また、近年深刻な問題になっている環境問題にも強い関心を持つものであるが、農業の影響についての研究は行なったことがない。この点からすると、執筆に適当な者ではないが、今回の依頼は1つの関連分野の研究者の立場からの寄稿を求められているものと解し、引受けることとした次第である。

1. わが国の水収支

わが国は多雨であるアジアモンスーン地帯に位置しており、年平均降水量は約1,800 mmで、世界の平均といわれる970 mmの約2倍もの降水がある。全国土(約 $37 \times 10^4 \text{ km}^2$)への降水量は、年間で約 $6,600 \times 10^8 \text{ m}^3$ に達する。全国土から流去、蒸発散その他で失なわれる水量も、当然ながら、降水量とバランスしている。

多雨ではあるが、わが国の人口密度が高いため、年間の1人当りの降水量は約 $6,000 \text{ m}^3$ で、世界の平均値である $34,000 \text{ m}^3$ の $\frac{1}{5}$ に過ぎない。これに加えて、急峻な地形のために河川勾配が大きく、集中豪雨の多い降水パターンであるため、降水量の約 $\frac{1}{5}$ は利用されることがなく、洪水として海に流れる。また、これとほぼ同量の

水が蒸発散によって大気中に失なわれる。結局、われわれが利用できる状態の水は全降水量の約 $\frac{1}{5}$ に過ぎないという(高橋, 1971)。以上に明らかなように、わが国の水資源はそれ程ゆとりのあるものとはいえない。さらに、近年は年ごとに各人の消費する生活用水の量は増大し、産業構造もより多くの水を消費する方向に向っている。このため、水資源に対する要求も今後に強まることは必至といえる。

国土庁(1983)の推定によると、1年間に水田や畑地のかんがい用水、および畜産用水に用いられる水の量、すなわち農業用水の量は、 $580 \times 10^8 \text{ m}^3$ である。この量は、わが国の全降水量の10%弱に、われわれが利用できる水の量の30%弱に相当する量である。農業用水の1部は光合成産物となって、収穫物と共に消費地に選ばれたり、蒸発散によって大気中に失なわれたりするが、恐らくかなりの部分は結局河川や湖沼に流入し、貴重な水資源となっている。周知のように、水は極めてすぐれた溶媒であり、陸地から多種多様の物質を溶かし出し、河川を経て海に運んでいる。農耕地に施された農薬も決して例外ではあり得ないわけである。

2. 農 業 の 特 性

今日の農業には作物を種々の害から護り、健全に育てるために、除草剤・殺菌剤・殺虫剤な

どの薬剤、作物の生長・分化の促進などのための薬剤など、種々の農薬が用いられている。労働力が非常に高価であり、農耕の機械化が著しく進んでいる現在、農薬の持つ効用は頗る高いために、農薬を用いない農業は考え難いといえる状況にある。わが国、アメリカ合衆国およびインドの農業に関する1963年の資料に基づいたOdum(1971)の解析によると、およそではあるが、単位耕地面積当りの作物の収量はインドを1とすると、アメリカ合衆国は2、日本は4程度となるが、用いている肥料あるいは殺虫剤の量はともにほぼ1:10:100であるという。この事情は、今日でもそれ程大きく変わっていないものと思われる。わが国の多収の農業は大量の施肥、農薬の使用の上になり立っているといえる。

除草剤・殺菌剤あるいは殺虫剤などのような、作物の栽培に際して広く用いられている農薬についてみると、作用の機作は薬剤によって必ずしも同じでないことが明らかにされている。しかし、これらの農薬には以下のような共通の特性が指摘できるように思われる。

(1) これらの農薬の効き方には、対象となる生物の種類によって著しい特異性が認められる。作物を害することのない濃度でも、これらの農薬は競争者である耕地の雑草を枯死させたり、病菌や病害虫を死滅させたり、忌避させたりする。病菌や病害虫の種類によっても有効に働く薬剤の種類や濃度が異なるなど、詳しくみると、さらに特異性が認められる。

(2) 以上の働きは、比較的に微量の農薬でも認められることが多い。別ないい方をするならば、これらの農薬には単位重量当りの作用の非常に強いものが少なくない。

(3) 多くの農薬は、微量で有効に働くと同時に

に、非常に安定な物質であるために、長期にわたってその働きを失なわない。野外では、周知のように、天然の有機物のほとんどは微生物によって利用され、無機化されるのがふつうである。しかし、多くの農薬のような人工の化合物は、これを利用する微生物がしばしばいないため、そのままの形で環境中に長く留まることになる。DDT, BHC, 農薬ではないがPCBなどの場合がその例である。

3. 水生生物と農薬

水生生物には淡水、汽水および海水環境に生息する生物が含まれるが、ここでは陸水、すなわち淡水の生物を主にして扱うこととする。

河川や湖沼のような陸水系の生物は、他の系でも同様であるが、無機的環境との間に、さらに生物相互の間に依存的、あるいは規制的な種々の関係を保ちながら、安定な物質系、すなわち生態系を作っているのがふつうである。生態系を扱う場合、栄養段階的もしくは食物連鎖的な視点がとられる。前者によると、生態系は生物的部分(生物群集)と非生物的部分(無機的環境)に別けられ、生物的部分は生産者(自栄養生物:緑色植物)、大型消費者(他栄養的生物:動物)および小型消費者(細菌類その他の微生物)に別けられる。食物連鎖的視点では生物群集の中に見出せる食う——食われるの関係を生物の種で結んだものを基本的な構造としている。

表題にあるバイオマス(biomass)は、時に多少異なる意で用いられることもあるが、本来はある地域の中の生物の量(一般に重量で示される)を指すもので、現存量(standing crop)と同義である。すべての食物連鎖が生産者を出発点とすることが示すように、系の外

から有機物が供給されることがない限り、系の中の生物の生活はすべて生産者の行なう有機物合成の産物に依存する。バイオマスの大きさも、これによって制限されることになる。

陸水生態系に農薬の及ぼす作用については、断片的ではあるが、いくつかの報告がある。生産者（緑色植物）では、古くからCu, Zn, Hgなどの重金属が接合藻類、ウキクサなどに極めて微量でも有害に作用することが知られている。水中にキレートとしての働きをする物質の有無、あるいは多少で加えられた重金属の働き方は変わりうる。

安野らは、小さい溪流に種々の薬剤を流し、これによる植物および動物の被害と、その回復を調べている。有機リン系の殺虫剤であるテメホス（temephos）の場合を例にあげると、128 m下流で約1時間後に10 ppmを越す濃度で、400 m下流で1.3 ppm、1,000 m下流で0.5 ppm以下が最大濃度であったが、第1の地点付近では完全な底生動物の空白地帯が現出し、藻類フロラでも、約1か月の間にラン藻類の*Chamaesiphon*から珪藻類の*Diatoma*に優占種の交代が起こった。食植性底生動物が排除されたことも原因の1つと考えられる。底生動物の回復には6か月を要した（安野ら、1982）。

魚類に及ぼす農薬の影響には、多くの報告がある。植物と異なって、これらの動物では生死の判定が容易なこともあって、農薬の致死濃度に関するもの、および奇形の発生に関するものが主である。致死濃度（TLm）は、供試個体群の半数個体が一定時間後にも生き残る濃度として求められている。一般には、2～4日が供試時間とされている。ここで注意しなければならないのは、多くの測定は水槽で、静止水の状態で行なわれているが、もし流水状態で行なわれ

るなら、供試時間をもっと長くするならば、結果は当然、大きく異なることである。例えば、Brungsのコイ科の一種を用い、ZnのTLmを96時間で測定した報告によると、前者で12～13 mg/lであるのに対して、後者では8.4 mg/lになるという（Welch, 1980）。さらに、TLm値は試験物質の相対的毒性を示す指標であって、安全であるとか、無害であるとかの濃度を示すものではない。そのためには、TLm値にある係数（application factor）を掛けてそれを求める必要がある。試験物質により、供試生物により、供試条件により異なるが、一般には0.5～0.01もしくはもう少し小さい値がこの係数とされている（Welch, 1980）。

以上に述べたようであるが、TLm値は毒性の強さを知るのに、さらに安全の限界を知る上にも重要なものである。わが国で報告されている例のいくつかを紹介したい。

橋本・西内（1967）、西内ら（1968～1972）は、コイ・ヒメダカ・ドジョウ・グッピー・カヤダシなどの魚類、ミジンコ・タマミジンコ・アメリカザリガニなどの甲殻類、軟体動物のマルタニシなどの淡水産動物を供試材料として、ひ素剤、天然殺虫剤、有機塩素系、有機リン系、有機ふっ素系およびカーバメイト系の殺虫剤、殺菌剤および除草剤、さらに殺ダニ剤、殺線虫剤など、多数の農薬のTLmを3, 24, 48, 72および96時間で測定している。農薬により、動物の種類によりTLm値はさまざまであるが、一般的な傾向として有機塩素系殺虫剤は魚類に対して、有機リン系およびカーバメイト系殺虫剤は甲殻類に高い毒性を示す。除草剤は、他の農薬に比べてやや毒性の低いものが多いようである。

水生生物の安全濃度限界に関しては、人によ

り結果は必ずしも一致していないが、アメリカ合衆国の水質基準で定められたものを参考までに表1に示しておく(Welch, 1980)。

表1. 種々の毒性物質の最大濃度限界と安全のための係数(AF)

毒 性 物 質	最大濃度(mg/l)	AF
金 属		
Al	0.1	—
Cd	0.004(軟水)	—
Cr	0.05	—
Cu	(0.01)	0.1
Pb	0.03	0.03
Hg	0.00005	—
Ni	(0.1)	0.02
Zn	0.005	0.005
その他の無機物		
NH ₃	0.02	0.05
Cl ₂	0.003	—
H ₂ S	0.002	—
HCN	0.005	0.05
有 機 物		
フェノール	0.1	0.05
LAS	0.2	0.05
有機塩素殺虫剤	0.002~0.01	—

注) ()内は推定値。アメリカ合衆国の水質基準(1973)として定められたもの。

魚の奇形、とりわけ背椎骨の変形と農薬との関係に関しても多くの報告があり、江草(1974)が要約している。これによると、魚の病的現象に対して農薬が直接的に作用している場合と、病因は他にあるが、農薬の作用が疾病の発生を助長する場合があるという。前者は背椎骨の骨折や湾曲が典型的であり、特に有機リン系およびカーバメイト系のものに働きの強いものが多く、有機塩素系、フェノール系およびトルイジ

ン系の農薬にもそのようなものが認められるという。勿論、このような作用はTLm値付近の濃度でみられるもので、急性毒性によるものとみられている。

4. バイオマスと農薬

以上に耕地に施された農薬は一般に残留性が大きく、かなりの部分が陸水生態系に加えられること、陸水生態系の生物的部分を構成する生産者や消費者に及ぼす農薬の作用について、いくつかの具体例について述べてきた。バイオマスに与える影響についての直接的な研究は、寡聞にして知らない。しかし、前述に基づいて、以下のように考えられる。

陸水生態系の生産者(主として藻類)の生存が危うくなるような重金属や農薬の負荷があるときは、一次生産は当然低下し、これに依存している動物のバイオマスは小さくなる。生産者にとって、TLm以下の濃度で、体内には低濃度にしか取りこまれない農薬も、DDT, BHC, PCBなどで認められているように、食物連鎖関係を通じて動物体には、しばしば高濃度に蓄積され生物濃縮は一般的な現象である。このため、TLmで示される直接的な毒作用の他に、疾病の発生、繁殖率や生残率の低下などによる動物のバイオマスの低下は、十分に起こりうることである。農薬の恩恵を受けながらも、好ましくない影響の軽減や排除についても考えないわけにはいかない。

参 考 文 献

- 1) 江草周三(1974): 日生態会誌, 24 ; 264 - 270.
- 2) 国土庁水資局編(1983): 日本の水資源.
- 3) 橋本康, 西内康浩(1967): 水産増殖, 15 ; 75 - 79.

- 4) 西内康浩(1968-1972): 水産増殖, 16-20 (II-XVの14編の報告あり).
- 5) Odum, E. P. (1971): Fundamentals of ecology.
- 6) 高橋裕(1971): 日本経済と水.
- 7) Welch, E. B. (1980): Ecological effects of waste water.
- 8) Yasuno, M., J. Ohkita and S. Hatakeyama (1982): Jap. J. Ecol. 32; 29-38.

除草剤の微生物分解をめぐる

東北大学農学研究所 佐藤 匡

1. はじめに

今や除草剤は農地だけでなく、小は個人の家の庭や大は公共の庭園などにも広く使用され、それぞれの場の管理や美化に役立っている。除草剤のみならず農薬の大部分は、土壤に導入または移行し、本来の使命を果たした後も消失しない場合には、土壤環境の汚染源としてマイナスの役割を示すようになる。そのために、それらの消失に密接にかかわる分解に関する検討が重要となる。

農薬などの環境中における分解には、生物学的なもの、非生物学的なものとの二つがあることは、これまでの多くの研究でよく知られているところである。そして、これら二つの中で、特に土壤環境中においては、生物学的分解——とりわけ微生物による分解——が主役を担っている。そのために、除草剤をはじめとして多くの種類の農薬に関して、それらの微生物学的分解の研究が数多くなされてきているといえよう。

微生物学的分解には、純粋培養を用いたものから、混合培養や集積培養の接種によるもの、さらに、抽出酵素を用いたもの、そして、殺菌土壤と非殺菌土壤の比較によるものなどさまざま

な内容がある。このように、農薬の生物分解に多くの内容があることは、その直接的分解の担い手の摘出が困難であることにも一因があるが、直接的担い手を特定できないことにもよっているようである。

恐らく、一般に xenobiotics や recalcitrant compounds と呼ばれる一群の物質にはこのような性格が多かれ少なかれ存在し、そのために、これらの名前では呼ばれていると思われる。しかし、これらの物質の微生物（または生物）による分解の解明は、単に環境汚染の制御だけではなく、新しい薬剤の開発、さらに、生化学における物質の生分解の知見の発展の上からも大きな意味をもっている。そこで、ここでは、除草剤の微生物による分解の研究を概観し、そこに含まれているいくつかの問題を考察する。

2. 農薬の微生物分解

2-1. 土壤中における微生物分解

“土壤は普遍的なバイオリクターである”とよくいわれている。すなわち、土壤中には、さまざまな生化学反応の担い手が存在しており、