除 草 剤 と 環 境

Philip C. KEARNEY* 千坂英雄**訳

Philip C. KEARNEY : Herbicides and Environment***

は じ め に

ここ 10 年来、有機農薬は主要な環境汚染源の一つと目され、合衆国内で強い批判を浴びてきている。とりわけ、DDT、ディルドリン、エンドリン、アルドリン、ヘプタクロールなど有機塩素系殺虫剤は、生態系のいろいろな場所で検出されるために、大きな関心を集め、ついに DDT などとはこれまで使用が認められていたいくつかの場面で使用禁止とされるに至った。これとは対照的に、大部分の有機除草剤は、処理後急速に分解が進むため、生態系内で大きな問題をひき起こすことなく過ぎてきた。

挑戦を受けた最初の主要除草剤は、フェノキシ系の 2,4,5-T であった。1969 年 10 月 29 日、科学技術局 (Office of Science and Technology) は、妊娠初期のマウスとラットに比較的高薬量の 2,4,5-T を与えたところ期待値以上の奇形児が生れたという実験の結果を公表した。この実験は、国立衛生院 (National Institute of Health, NIH) が、農薬に催奇性 (teratogenic, 訳者注: ここでは奇形胎児を生ずる作用をさしている) をもつものがあるかどうかを調べるため、Litton Industry の Bionetics 研究所に依頼して行なった研究の一部である。

実験報告¹⁾ は次のように述べている。“2,4,5-T は、皮下あるいは経口いずれかの投与で 2 系統のマウスに、また経口投与で 1 系統のラットに催奇性を示し、胎児を死に至らしめた。マウスには嚢胞性じん臓 (cystic kidney) と口蓋破裂症 (cleft palate) とが、またラットには嚢胞性じん臓が認められた。”この 2,4,5-T の作用は、113 mg/kg の高薬量を 9 日間継続して投与した場合に現われたものである。

科学技術局の発表は、2,4,5-T の催奇性に関するものとしては最初の情報であったが、この発表以来、合衆国内では数々の研究が行なわれ、また政府も各種の措置をとってきた。間もなくして、上述の実験に用いられた

2,4,5-T のサンプルには約 27 ppm の 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-*p*-dioxin (TCDD) が含まれていたことが明らかになった。TCDD は胎児致死性、催奇性で毒性が非常に強い物質である。国立環境衛生研究所 (National Institute of Environmental Health Service) の研究によれば、純粋な 2,4,5-T の高濃度の皮下注射でマウスにはかなりの数の致死性の奇形が生じたのに対し、ラットでは生じなかったという。

論争は、単に除草剤の直接的な毒性の問題にとどまらず、除草剤の環境に対する影響という観点においても多大の関心を集めて論じられている。以下、環境内における除草剤の行動 (fate) について、とくに 2,4,5-T に重点を置き、現在までにどんなことが判っているか簡単に述べ、また 2,4,5-T に対してとられた行政的な主な措置について要約して述べてみたい。

環境面からみた除草剤

はじめに、合衆国における除草剤の使用状況についてふれておいた方がよいと思う。現在、植物保護の目的でおよそ 130 種類の除草剤が各種の使用法で登録されている。経済調査の結果では、これら除草剤の 1966 年度使用面積は、殺虫剤の 6,700 万エーカー (約 2,700 万 ha),

第 1 図 合衆国における殺菌剤・殺虫剤・除草剤の使用面積

* Plant Science Research Division, Agriculture Research Service, U.S. Department of Agriculture, Beltsville, Maryland 20705, U.S.A.

** 農林省農事試験場作物部, 埼玉県鴻巣市

*** Translated by Hideo CHISAKA.

殺菌剤の400万エーカー（約160万ha）に対し12,200万エーカー（約4,900万ha）に達している（第1図）。つまり、合衆国における除草剤の使用面積は、除草剤以外の農薬の全使用面積よりも大きい。2,4,5-Tは同じ1966年度に、エーカー当たり0.25ないし2ポンド（約0.3～2.2kg/ha）の薬量で800万エーカー（約320万ha）で使用された。

ここ10年間の除草剤産業の伸びはめざましいものがあり（第2図）、1968年までに除草剤の国内販売量は年間3億ポンド（約14万トン）を越えた。除草剤に対す

第2図 合衆国における殺菌剤・殺虫剤・除草剤の国内販売量 (1963～1968年)

る需要が増大し、また収益率が高かったこともあって、多数の企業が除草剤を手がけるようになったのであるが、新しい除草剤を登録までもっていくのに次第に費用が多くなかざるようになったために、最近では生産を中止し、新しい除草剤の開発をあきらめる企業もでてきている。開発費用が増大した主な原因は、毒性あるいは環境に対する影響について多量の情報が要求されるようになったことにある。

次に環境内の行動に関与する除草剤の主な特性について述べよう。

土 壌 残 留

第3図は、主な農薬グループ数種の土壌残留性を示したものである⁹⁾。各横棒は1つまたは2～3種類の農薬グループを表わし、横軸には処理量の75～100%が消失するに要する期間が月数で示してある。横棒中に入っている白の縦線は、その農薬グループ内の個々の農薬・除草剤の残留期間を意味している。最も残留性の大きい農薬グループは有機塩素系殺虫剤で、これは一般に一栽培期間以上にわたって残留する。除草剤の残留スペクトラムは幅が広く、あるものは数日間、またあるものは何ヵ月もかかって消失する。

フェノキシ・トルイジン・ニトリル系除草剤の残留性

第3図 主な農薬グループの土壌残留性
(KEARNEY ら, 1969 より。出版者 Charles C. THOMAS, Fort Lauderdale, Fla. の好意による)

第4図 フェノキシ、トルイジン、ニトリル系除草剤の土壌残留性
(KEARNEY ら, 1969 より。出版者 Chales C. THOMAS, Fort Lauderdale, Fla. の好意による)

のパターンを、第4図にさらに詳しく示した。フェノキシ系除草剤は一般に土壌残留性の除草剤ではない。農業上実際に使われる処理量で、2,4-Dは普通1ヵ月で分解する。すなわち、残留期間は気候・土壌条件によっても明らかに変動するけれども、普通の気候条件下では、大部分の土質の土壌で30日以内に75～100%が消失すると思われる。2,4,5-Tは、これよりも幾分残留性が大で、完全消失に通常2～5ヵ月を要する。近縁のフェノキシ系除草剤 MCPA はその中間で、約1～3ヵ月残留する。したがって、総じてみれば、フェノキシ系の除草剤は残留性ではなく、一般に後作物に障害を与えないといえよう。

農務省の土壌監視計画 (USDA Soils Monitoring Program) を例にあげると、ここで集められた2,649点の土壌の試料のうち、2,4-Dにポジティブであったのは

僅か4点だけで、また2,4,5-Tは全試料で検出されなかった²⁾。

移 動 性

農薬は、処理された場所から他へ移動することで環境汚染の源となる。除草剤の溶脱、つまり土壌断面を通じての垂直移動は、各種の実験方法で試験されてきているが⁸⁾、第5図に、それらの結果を相対的な尺度でまとめて示した。移動性指数 (mobility factor) は相対的な移

第5図 相対的な尺度で示した農薬の土中垂直移動性 (HARRIS, 1969 より)

注 a): Dicamba, triclopyr, 2,3,6-TBA, amiben, methoxyfenac, 2,4-D, 2,4,5-T および fenac
b): DNBP, pyriclor, norea および cycluron
c): Monuron, buturon, linuron, diuron, atrazine, simazine, propazine, prometryne, EPTC, pebulate, vernolate および diphenamid
d): Benfen, planavin, CIPC, trifluralin および dipropalin
e): Aldrin, o,p'-DDT, p,p'-DDT, DDE, dieldrin, endrin および heptachlor

動性を表わし、1.0から6.0までの範囲で指数が小さいほど移動性が小さいことを示す⁷⁾。移動性指数1.0近辺の農薬は、移動しにくく土壌表面付近にとどまっている農薬であって、例えばDDTなどいくつかの有機塩素系殺虫剤 (移動性指数1.0) は容易には土中に溶脱していない。これとは対照的に、フェノキシ系除草剤を含めて、酸除草剤は土中で非常に移動しやすい化合物である。水溶性陰イオンの物質は土壌粒子によって反撥され、溶液の形で土中に垂直に移動し、また土壌表面を横にも動きやすい。

したがって、2,4-Dや2,4,5-Tが、散布された場所の周辺の水系に現われる可能性は一応大きいとみななければならない。しかし実際には、連邦政府の機関によって行なわれたばう大な点数の測定でも、水系に2,4-Dや2,4,5-Tが認められたという事例はほとんどないのである。農務省の監視計画 (USDA Monitoring Program)

の一部として実施された調査を例にあげると²⁾、池・排水路・運河から採取した1,145点の水の試料のうち、わずか3点だけが2,4-Dにポジティブであり、2,4,5-Tは全試料で検出されなかった。また1967年に、BROWN and NISHIOKA³⁾ が合衆国西部の11河川について月別に計測した結果を報告しているが、これによれば、いずれの計測時にも2,4-D、2,4,5-Tおよびsilvex (2-(2,4,5-trichlorophenoxy) propionic acid) の残留は認められなかったという。

合衆国地質調査所 (U. S. Geological Survey) は、1966年10月から'68年9月にわたって、水系に存在する農薬の大規模な測定を実施した¹⁰⁾。測定は合衆国西部の主要河川の20ヵ所で行なわれ、測定対象には2,4-D、2,4,5-T、silvexが含まれている。この調査で、最も頻度高く検出された除草剤は2,4-Dで、これは除草剤の全出現回数の約50%を数えた。しかし除草剤の出現回数は全体からみれば僅かであって、数百の観測点数のうち、2,4-D、2,4,5-T、silvexが検出されたのは、それぞれ36, 24, 10点であった。また、検出された量は極く微量で、最高量でも2,4-Dで0.35 μg 、2,4,5-T 0.07 μg 、silvex 0.21 $\mu\text{g/l}$ に過ぎない。

ラットを用いた催奇性試験からみて、2,4,5-Tの無作用量 ("no-effect" level) は生体1kg当り50mgとみられるが、体重60kgの妊娠中の婦人が2,4,5-T 61 ppbを含む水を1日3l飲むとして、これは無作用量の1/16,000の摂取量でしかない。

食 品 中 の 残 留

保健教育厚生省食品医薬品局 (Food and Drug Administration, FDA) は、主要都市から食品を集め、1人が1日に摂取する食品に含まれる農薬の残留量を計画的に監視している。

1966・67・68年に集められた食品の試料のうち、ボストン地区の酪農製品2点に2,4,5-Tがそれぞれ0.008, 0.19 ppm、また肉・魚・鳥肉製品1点に0.003 ppm検出された¹¹⁾。検出の頻度は、24,000点以上集めた試料のうち僅か3点に過ぎないのであるから、非常に低いとしてよい。2,4,5-Tの1日の摂取量を計算すると、酪農製品について1966~67年には0.001 mg、1967~68年には0.0001 mg以下となる。ボストン地区の試料を除けば、肉・魚・家さん・穀類・ばれいしょ・葉菜類・根菜類・豆類・果菜類・果物・油脂・ショートニング・砂糖・添加物・飲料のいずれにも2,4,5-Tの残留は認められなかった⁶⁾。

このような食品中の残留量から、実際に2,4,5-Tが人間の健康にどの程度害になっているか評価するのは難

かしいことだが、次のような単純な計算をしてみるのも、一応のめやすをたてる助けにはなると思う。Bionetics 研究所の報告によれば、2,4,5-T の無作用量は 21.5 mg/kg とされている。2,4,5-T の最高残留濃度は、乳脂中の 0.19 ppm であったから、牛乳に乳脂が 4 % 含まれているとして、2,4,5-T の無作用量を牛乳から摂取するには、体重 65 kg の婦人であれば、1 日約 160,000 l 飲まねばならない。体重 65 kg というのは、日本の婦人の規格からすれば大き過ぎると思うが、いずれにしろ、この程度の濃度で 2,4,5-T が食品中に残留していても、人間の健康には何ら脅威ではないと考えてもそう無理ではなかろう。

塩素化 Dioxin

前にも述べたように、2,4,5-T に催奇性があるという報道が出てから間もなく、その報道のもとになった Bionetics 研究所の実験に使われた 2,4,5-T は 27 ± 8 ppm の TCDD (2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-*p*-dioxin) を含んでいたことが明らかになった。

TCDD は、2,4,5-T 合成の過程で 2,4,5-trichlorophenol 生成の途次に生ずる非常に危険な不純物である。普通 2,4,5-T 合成には、まず 1,2,4,5-tetrachlorobenzene をメタノール性苛性ソーダの中で加水分解して 2,4,5-trichlorophenol を作る (第 6 図)。アルカリ条件下で、また 160°C 以上の高温条件下で、かなりの量の TCDD が生成される可能性がある。

第 6 図 2,4,5-T 合成過程における Dioxin (TCDD) の生成

TCDD は、モルモットに対する LD_{50} が 0.0006 mg/kg とすこぶる毒性が強く、強力な催奇性物質であり、またひどいニキビ (acne) をひき起す。合衆国内で 2 回ほどひどいこの大量死事件が起こったが、TCDD はこの事件でいわゆる“ひよこ浮腫誘因” (chick edema factor) と呼ばれているものと何らかの関係があるとされている。

われわれベルツビルの研究室でも、TCDD について強力に研究を進めている。140 種以上の農薬を検査した結果、TCDD は 2,4,5-T の以前に製造されたサンプルにのみ測定可能な量含まれていることが判明した¹³⁾。現在登録使用されているものの含有量は 0.5 ppm 以下である。環境内の行動についてみると、TCDD は土中で移動しにくい物質で、植物には吸収されにくく、残留性が長く、実験室条件下で光分解し、葉面処理で容易には体内を移行せず、葉面から降雨によって洗い流されにくく、また普通の 2,4,5-T 散布量では土壤中から検出されないなどということが判っている。

行政面からみた 2,4,5-T

2,4,5-T の催奇性について最初の報道があつてから、この除草剤を現在のような状態におくのに大きな役割をした重要な出来事が 2 つあった。1 つは、“2,4,5-T の人間および環境に対する影響”についての議院聴問会である。この聴問会は、“エネルギー、自然資源、環境に関する小委員会”の議長である HART 上院議員 (ミシガン州選出) によって担当された。聴問会の証言は 1970 年 4 月 7 日・15 日に行なわれた。あとの 1 つは、HARDIN 農務長官に対し、2,4,5-T のまだ使用が認められている場面 (本文末の訳者註参照) のすべての登録を抹殺するよう要求して環境保全グループが行なった高等裁判所に対する訴願である (ワシントン D. C. 地区連邦巡回高等裁判所, No. 24,434, 訴願人 Harrison WELFORD 他, 被訴願人 農務長官 Clifford M. HARDIN)。

これらの審理の場には、2,4,5-T の歴史、使用、利益、危険、環境と保健への影響などについて大量の情報が集められた。またこれに加えて、農薬取締りの基本法である連邦殺虫剤・殺菌剤・殺そ剤法 (Federal Insecticide, Fungicide and Rodenticide Act, FIFRA) についても論議が行なわれた。この 2 つの審理における重要な論争点は、2,4,5-T の催奇性についての疑問と、FIFRA の規定に従って行動すべきである農務長官の権限についてであった。

この 2 つの審理がまだ終結に至っていないとき、将来合衆国における全農薬の登録権限を持たせるべく、環境保護局 (Environmental Protection Agency, EPA) という新しい連邦の機関が設立された。農務省の農薬登録部 (Pesticide Registration Division) は EPA の一部局として吸収され、1970 年 12 月 2 日現在で合衆国の農薬登録の権限が EPA に付与された。

1971 年 1 月 7 日、連邦巡回高等裁判所は農務省に対して裁定を下した。裁定は、この 2,4,5-T の問題を EPA

に送り、2,4,5-Tの使用によって人がこの薬剤に接触する危険がどの程度あるかという観点から更に検討を加えよというものであった。

高裁の裁定が出てから間もなく、大統領科学諮問委員会 (President's Science Advisory Committee) から報告 (未発表) が出され、この報告は 2,4,5-T に対する現在の政府の方針を決めるのに大きな影響を与えた。Food Chem. News¹⁾によれば、この報告は要するに次のように述べている。“食用作物に対し 2,4,5-T を普通の方法で使用したとき、問題になるほどの残留が生ずるという証拠を当委員会は見出すことができなかった。残留が認められた事例もいくつかあるが、これらの事例における残留量はすべて人に有害な影響を与える量よりはるかに少ないものであった”。“一般に催奇効果を証明するための実験は、人間に接触する実際の量あるいは予想される量をはるかに越える薬量で行なわれており、このような実験を根拠にして農薬 (化学物質) の使用を制限・禁止するのは合理的ではなく、そのもたらす利益が危険よりはるかに大きいような農薬の使用を否定してしまうことになりかねない”。

1971 年 3 月 18 日、EPA は “2,4,5-T についてまだ使用が認められている主要な登録を今の段階で取り消すつもりはない。しかし、情報を集めて継続して検討する” という方針を決定した。

要 約

今日の環境汚染論争で、除草剤は最初の重大な挑戦に遭遇している。除草剤は普通には高等植物に特有な生活過程を抑制するのであるから、一般に安全性は高いと考えられてきたが、その安全性をさらにはっきりさせるべきだという強い要求によって、一連の催奇効果・突然変異誘起効果の試験が実施されるようになった。そして、2,4,5-T の高薬量の投与でマウスに催奇効果・胎児致死効果が生ずるということが見出されて、除草剤技術の歴史は新しい局面を迎えたといえる。2,4,5-T の使用を禁止すべきか否かについて、科学的あるいは法律上の討議が長期にわたって行なわれている。この討議の結論は、国際的な広がりをもって、除草剤全体に複雑なかかわり合いをもつであろう。

今日、合衆国の環境汚染問題における最も重大な関心事は、魚の水銀汚染である。水俣湾や新潟で起こった災害に基づく日本の研究、それにスウェーデンの研究から数多くの情報が得られているが、これらの情報は合衆国の科学者の間に広く行きわたり、検討されている。2,4,5-T の問題は、毒性や持続性の点で水銀の場合とは全く状

況を異にしていたけれども、環境保全グループの圧力で、すでいくつかの規制が 2,4,5-T に課せられてきている。2,4,5-T に対してとられる最終的な措置は、ある程度世界各国の政府に影響を与えることになるだろう。

この論文では、大半を 2,4,5-T に関する現在の論争の説明に費してしましたが、もっと一般的な意味で世界諸地域における農薬の問題について次の諸点を指摘したい。まず、農薬の安全な利用のしかた、および農薬が社会に与える利益と環境・人類に与える不利益とについて、さらに情報を蓄積する必要があるということである。また、もっと大切な事は、その農薬を使った場合と使わなかった場合とでどちらが障害が大きいのか、その事実を、何らかの方法で一般社会に知らせることである。そして、すべての事実を解析し、社会に最大利益を与えるような合理的な結論を引き出す、ある種の行政的なしくみが必要であろう。

〔訳者註〕2,4-D はじめ、MCPA, 2,4,5-T, silvex などフェノキシ系除草剤に対し、農務省が作物・食品中の残留のデータの提出を求めたのは 1966 年のことで、その後 1970 年までの間に関係メーカーや農務省の手で残留量の調査や 2 年間給餌試験を含む毒性の調査が行なわれた。これらの調査から、フェノキシ系除草剤は残留・毒性面で問題は特にないと見られていた。しかし、本文中にも述べられているように、1969 年 10 月の 2,4,5-T に催奇性があるという発表に関連して、HARDIN 農務長官は次のような 2,4,5-T 使用制限の措置をとった。

まず、水系汚染を通じて人間・水生生物に悪影響を与える可能性を少なくするため、また妊娠中の婦人が散布による飛散を浴びる危険を回避するため、1970 年 4 月 15 日、湖沼・水路に近接する地域における 2,4,5-T 製剤の全使用と住居・公園およびそれに類する地域における 2,4,5-T 液剤の使用を禁止した。次いで、同年 5 月 1 日には、住居・公園などの地域における粒剤の使用を禁止するとともに、食用作物に対する使用を全面的に禁止した。したがって、この時点で草地・森林・工場敷地に対する使用は認められていると考えられる。

米国では、2,4,5-T はこれまでも食用作物にはほとんど使用されていないが、Dow・Hercules などのメーカーは水稻に対する使用禁止措置に再審査を請求し、科学諮問委員会はこれを取り上げた。この委員会の報告は本文中にみられる通りである。

引用文献

- 1) Anonymous. 1971. 2,4,5-T Defended in OST report. Food Chem. News 12:11-14.

- 2) Anonymous. 1967. Monitoring agricultural pesticide residues 1965-1967—a final report on soils, crops, water, sediment and wildlife in six study areas. U.S. Dept. Agr. ARS 81-32 97p.
- 3) Brown, E. and Y.A. Nishioka. 1967. Pesticides in selected western streams—A contribution to the national program. *Pest. Monit. Jour.* 1:38-41.
- 4) Corneluissen, P.E. 1969. Residues in food and feed: Pesticide residues in total diet samples (IV). *Pest. Monit. Jour.* 2:140-152.
- 5) Courtney, K.D., D.W. Gaylor, M.D. Hogan, H.L. Falk, R.R. Bates and I. Mitchell. 1970. Teratogenic evaluation of 2,4,5-T. *Science* 168:864-866.
- 6) Duggan, R.E. and G.C. Lipscomb. 1969. Dietary intake of pesticide chemicals in the United States (II), June 1966-April 1968. *Pest. Monit. Jour.* 2:153-162.
- 7) Harris, C.I. 1969. Movement of pesticides in soils. *J. Agr. Food Chem.* 17:80-82.
- 8) Helling, C.S. 1970. Movement of s-triazine herbicides in soils. *Residue Rev.* 32:175-210.
- 9) Kearney, P.C., R.G. Nash and A.R. Isensee. 1969. Persistence of pesticide residues in soils. p. 54-67. In M.W. Miller and G.C. Berg (ed). *Chemical Fallout: Current Research on Persistent Pesticides*. Charles C. Thomas, Springfield, Ill.
- 10) Manigold, D.B. and J.A. Schulze. 1969. Pesticides in water. *Pest. Monitoring Jour.* 3:124-135.
- 11) Martin, R.J. and R.E. Duggan. 1969. Pesticide residues in total diet samples (III). *Pest. Monit. Jour.* 1:11-20.
- 12) Woolson, E.A. and R.F. Thomas. 1971. Survey of 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-*p*-dioxin content in selected pesticides. *Amer. Chem. Soc. Abst.* 20 161st Meeting, Los Angeles, California.