除草剤の安全使用をめぐる諸問題

農林省農業技術研究所・生理遺伝部 松 中 昭 一

Shooichi MATSUNAKA*: Problems on the Safe Use of Herbicides

1. はじめに

農薬が目標とする病原菌・害虫・雑草などにたいして毒作用をもつ限りにおいて、それと関係ない生物にたいして無害、すなわち安全に使用するように配慮することは当然であり、これにたいして多大の努力が払われつつある現状である。いわゆる公害問題の深刻化にともない、また一方では「米が余る」という現実とのバランスで農薬公害なる言葉も生れ、農薬の使用はきびしい局面に立たされている。除草剤とてもその例外ではない。筆者が除草剤の仕事をはじめた頃、除草剤のほとんどが植物毒であり、かつ収穫よりもはるかに以前に施用されるという2点を考えれば、除草剤の残留毒性や人畜毒性はあまり問題がないと考えていたが、その状況はかなり変わってきている。後述するように除草剤の代謝産物や夾雑物の毒性が問題になってくると、呑気なことはいっておれないのである。

除草剤の安全使用といえ、まず作物にたいする安全性、すなわち薬害^{1,2)}のないことを考えるべきであるが、これについては該除草剤の選択性機構にもとづいた正しい施用法が対応策となろう。本論文では、むしろ除草剤のもついわゆる農薬公害面からの問題点に主眼をおいて、現在考えうる範囲内について説明してみることにする。除草剤関係でのこの方面の対応策はまだ緒に付いたばかりで、未完成なことばかりであるが、この小文がその組織化のひとつの資料となれば幸いである。

2. 作物への安全性

前述のように、除草剤の作物への安全性は、一言でいえば、薬害を出さないように除草剤を使うことである。農業に使われる除草剤は、雑草には効くが、同じ高等植物である作物には効かないという選択性をもたねばならない。この選択性の範囲内において安全に使用できるものであることをいつも忘れてはならない。

この選択性の機構は各除草剤によって相違しているが、位置や時間的な差を狙うもの、透過性や体内移動性の差を狙うもの（生理的选择性）、それに解毒や活性化

機構の差を利用するもの（生化学的選択性）などが考えられる³⁾。これらのうちで、一番例の多いのは最初のケースで、作物の感受性の高い部位と雑草のそれとが位置的にちがっている場合、両者の出芽経過に時間的なズレのある場合、あるいは作物と雑草の生育ステージの差を利用するなどがこれに該当する。したがって、異常高温や異常低温などの温度条件、低日照や育苗不良による不健全苗、多雨、冠水、異常漏水、散布ムラや使用量間違い等々が原因していわゆる薬害を生ずる危険性を内包している訳である。

また、前作に使った除草剤が圃場に残存して次の作物に害を出す場合があるので、注意が必要である。ひとつの作物に選択性が高い除草剤は、別の作物には逆に選択性が低い場合が多いから、水田の高度利用などにおいてはとくに気をつけなければならない。

DCPA のイネにおける場合のように、イネによる解毒分解という生化学的な完全に近い選択性であっても、有機リン剤やカーバメート系殺虫剤の同時あるいは近接散布による薬害誘起⁴⁻⁷⁾（イネのもっている解毒酵素をこれら殺虫剤が阻害する）を問題にしなければならない。

薬剤を発売するにあたっての、判っている限りの薬害防止対策（安全使用にあたっての注意事項）はラベルに記載されているので、その注意事項を厳守することが安全使用の第一歩であり原則である。

3. 農薬の行方

栽培上の農薬の問題点のひとつである薬害については前項にのべたような注意が必要であるが、栽培環境以外への農薬の影響については、その行方を概観した上で問題点を集約する必要がある。施用された農薬が、自然環境や食品を通じて人畜にどのような影響を与えるかの経路をまとめてみると図1のようになる。

以下、急性毒性、食品を通じて直接的なあるいは食物連鎖を通じての間接的な慢性毒性、さらに除草剤の代謝産物や夾雑物の問題について説明することにする。

* Department of Physiology and Genetics, National Institute of Agricultural Sciences, Konosu, Saitama.

図1 農薬の食品への残留経路とその人体への影響

4. 除草剤の急性毒性

はじめに書いたように、除草剤は植物毒であるため人畜にたいする急性毒性の高いものは少ない。しかし、急性毒性の高いものはその性格上速効的に悪影響を示し、因果関係が直接的にはっきりする場合が多いのはもちろんである。また、急性毒性は、その除草剤としての作用機構と関係が深いようである⁹⁾。すなわち、表1に示す

表1 除草剤の作用機構とその温血動物にたいする急性経口毒性

作用機構	除草剤名	急性経口毒性 LD ₅₀ (mg/kg 体重)
エネルギー代謝阻害	PCP	78 (R)*
	DNOG	10 (M)
	DNBP	40 (R)
	TPCL (有機錫)	109 (M)
植物ホルモン作用攪乱	2,4-D	375 (R)
	MCP	700 (R)
光合成阻害	DCMU	3,600 (R)
	シマジン	5,000 (R)
	プロメトリン	3,750 (M)
	ブラマンル	5,200 (R)
光活性化	NIP	3,580 (M)
	CNP	10,800 (R)

* R: ラット, M: マウス

ように、エネルギー産生機構を阻害する PCP などのグループは動物にたいする毒性も高いが、光合成阻害のグループ (DCMU や simazine など) は人畜毒性が低い。エネルギー産生機構は好氣的微生物から植物をもふくめて高等動物にいたるまで、かなり共通類似の機構から成り立っており、ここに作用する毒物は広範囲の生物にたいして毒性を示すことになる。

農薬の温血動物にたいする急性毒性は、かならずしも魚毒性と一致しないので、農薬検査所では後者の検定を

実施し、魚毒性の強弱に応じて農薬を3段階に分類し、大まかな指標としている。分類は A, B, C になっている。A類は通常の使用方法では問題ないもの、B類は通常の使用方法では影響は少ないが、一時に広範囲に使用する場合には十分注意するもの、C類は毒性があるので、使用にあたっては、薬剤が河川などに飛散流入しないようにとくに注意するもの、を指す。登録除草剤のうち B および C に分類されているもののみをとりあげて表示すると表2のようになる。

表2 魚毒性 B 類および C 類に分類される除草剤

C 類*	B 類
アイオキシニル	キサントゲン酸塩, クロロクサロン, トリエタジン,
有機錫	トリフルラリン, 2,4,5-T, 2,4-Dエチルエステル,
DCNP	ACN, BIPC, CBN, CMMP, DCMU, MCC,
DNBP	MCP エチルエステル, MCPB, MCPA,
DNBPA	MCP, NIP, SAP
DNOG	

* PCP は指定規制農薬として別枠

特に PCP は、殺菌剤としても利用されている位で、散布時に接触・吸入のないよう留意する必要がある。一方、水田に使用する際は、水路への流出防止、浅海・湖沼近辺での使用禁止等の規則を十分に守る必要がある。昭和 37 年の PCP 魚貝毒事件を契機に改正された農薬取締法によれば、水田で広範囲に使われるか使われる見込みであり、かつその使用にともなって水産植物の被害がいちじるしく発生するおそれのある農薬は特に指定農薬として指定されることになった (昭和 46 年 1 月 14 日付の法改正⁹⁾ では、この種の指定農薬は水質汚濁性農薬として指定され、新しく指定農薬的に取扱われるようになった作物残留性農薬および土壌残留性農薬と並置されるようになった)。指定農薬に関して農業者の自主的な

措置が講ぜられないときには、都道府県知事は、意見聴取・事態勘案の上その使用につき知事の許可をうけるよう命令することができる（旧法 12 条の 2；新法ではもっと簡単に命令できる。使う立場からいえばよりきびしくなったといえよう）。この時点で PCP またはそのナトリウム塩・カルシウム塩が指定農薬に指定されたことはもちろんである。その許可基準は農薬取締法施行規則（第 9 条の 2）に明記されている。

また、次のべる農林省告示（昭和 38 年 5 月 1 日、第 553 号）に該当する農薬は水産動植物に被害が発生あるいはそのおそれがあるので、農林大臣が登録を保留してその品質を改良するよう指示することができる。すなわち、水田に使用される農薬で、コイの 48 時間半数致死濃度が 0.1 ppm 以下であり、毒性消失に 7 日以上かかる場合である。特に、有効成分の 10 アール当り使用量が 0.1 kg をこえるものにあつては、その半数致死濃度を ppm で表わした数値をその 10 アール当りの使用キログラム数で除した数値が 1 以下である場合にもこれに該当する。すなわち半数致死濃度が 0.1 ppm よりも大きい（低毒性）、たとえば 0.5 ppm であっても 10 アール当り使用量が 600 g であれば、 $0.5(\text{ppm}) \div 0.6(\text{kg}) = 0.833 < 1$ であるので、この規制にひっかかって、農薬登録が保留されることになる。また、新法⁹⁾では「当該種類の農薬がその相当の普及状態のもとに登録申請書の記載にしたがい一般的に使用されたとした場合に、多くの場合、その使用に伴なうと認められる公共用水域の水質の汚濁が生じ、かつその汚濁に係る水（その汚濁により汚染される水産動植物を含む）の利用が原因となって人畜に被害を生ずるおそれがあるとき」においても、農林大臣は登録を保留してその品質の改良を指示することができる。

上述のように、水産動植物への安全性は水質汚濁防止の観点にまで拡大され、農薬登録にあたっての品質改良指示と、使用にあたっての許可制度との二段のチェックをうけることになる。

5. 除草剤の慢性毒性

雑草防除の目的で施用された除草剤が直接的に対象作物の収穫物中に残留する場合（作物残留性農薬）、あるいは食物連鎖を通じて最終食品を汚染する場合、さらに土壤に永く残留して次期作付作物収穫物を汚染する場合など、現在、農薬が公害的に問題視されている焦点のひとつは、食品や環境への残留を通じて長い時間かけて慢性的に人畜に害毒を及ぼすであろうという点である。

慢性毒性については、実験手法のむづかしさから、い

わゆる科学的といわゆる知見情報の真実性判定は非常に困難なものになっている。実験期間・施用方法・施用量（実験的には極端な用量を与える場合が多い）・実験動物等の選定方法が結果の判定を大きく左右する。特に実験動物から人間へどのように翻訳するかが重要な問題である。

したがって、ある農薬が慢性毒性的に問題があるときめつけるためには、いろいろの手順をふむ必要があるわけであるが、実際には長期間にわたる動物実験の結果、発ガン性・催奇性あるいは肝臓機能障害、脳神経系変調などが認められると「疑わしきは罰する」の法則が適用され、問題視されるのが現状である。特に、農産物はその大半が食糧や食品であり、たとえその農薬に実害がなくてもそんなものを食べるのは厭だという嗜好的要素や心理的要素に支配される場合が多く、これが市場価値を左右して結局は生産をあきらめざるを得ない事態を生ずるので、問題が大きいのである。

有名な「Silent Spring」¹⁰⁾が出版されたのは 1962 年であるが、その中でははっきりと慢性毒性が問題視されているのは、ATA、CIPC および IPC である。前者は、アメリカの FDA（食糧薬品管理局）の実験¹¹⁾をもとにして、2 年間の ATA 給飼で半数以上のネズミに甲状腺その他の腫瘍ができたことと述べられてある。1969 年末にアメリカで出版された公的な報告書¹²⁾の中で、ATA は発ガン性に関してははっきりと黒いとされているが、アメリカでは食用作物に使用されていないせいか、使用禁止とまではしていない。単に人間環境をおかさないように使用せよと勧告されている。

一方、CIPC は「Silent Spring」ではネズミの皮膚に腫瘍を生ずるとされている¹³⁾が、前述の報告書¹²⁾では発ガン性はないと、完全な白抜いをうけている。この報告書では、黒と白との間にもっと実験を行なわないとはっきりしない灰的な存在が、その程度に応じて並べられているが、その中で除草剤関係のものとして、monuron、IPC (propham)、2,4-ジクロルフェノキシプロピオン酸、2,4-D イソプロピルエステルなど、また生育調節剤の中で CCC やジベレリンがあげられている。

注意しなければならないのは、これらの報告が上記薬剤の質的な面を述べているのであり、量的な問題がもうひとつ残されていることである。ATA にしても、食品の中に発ガン性を発揮するほどに多く含まれているかどうかはまた別の検討事項である。さいきん、アメリカでも 2,4,5-T 使用の規制に関連して「200 万トンの鋼鉄を御婦人の頭にのせたら危険であるとわかったので、同じ鋼鉄製のヘアピンを御婦人が使うことはまかりなら

ぬ」というに等しいと皮肉っている人¹⁴⁾もいる。

しかし、またもとへ戻って食品という嗜好的なもの、また現在のように供給が豊富で、消費者側に選択の自由がある場合には、非科学的な定性的理屈もまかり通ることを忘れてはならないであろう。

6. 除草剤代謝産物の毒性

除草剤そのものに毒性がなくても、その代謝産物の毒性を問題にしなければならないこともある。代謝系とし

ては、作物体自身や雑草、それに土壤微生物の作用が重要な位置を占めている。また、非生物的な系として太陽光線などによる光化学反応も考慮する必要がある。

微生物による代謝の系として、除草剤 DCPA は土壤中で 3,4-ジクロロアニリン (DCA) に加水分解されることがわかっている。ここで生成した DCA はさらに土壤微生物の作用をうけて 2 分子結合し、3,3',4,4'-テトラクロロアゾベンゼン (TCAB) を生じる^{15,16)} (図 2 上)。この一連の土壤中の反応が土壌の種類によってど

図 2 土壌中での DCPA の代謝経路¹⁷⁾

のように相違するかが、千坂ら¹⁷⁾によって検討されているが、羽犬塚(筑後)や鴻巣の水田土壌では TCAB 生

図 3 TCAB 生成能の土壌による相違¹⁷⁾

成量が多く、宇都宮のそれでは少ないことがわかっている (図 3)。

また、DCA は土壌中の亜硝酸でジアゾ化されたあと、別の DCA と化合して 1,3-bis (3,4-ジクロロフェニル)-トリアゼンを生じるという証明¹⁸⁾も行なわれている (図 2 下)。

ここで重要なことは、ある種のアゾベンゼン化合物に発ガン性がある^{19,20)}とされていることである (たとえば色素パターイエロー、すなわち *p*-ジメチルアミノアゾベンゼン²¹⁾)。前記アメリカでの報告書¹²⁾の中で、置換基のないアゾベンゼンは上述の発ガン性に関する灰色グループに入っており、その中でも第 1 番目に再検討される部類に入れられている。

TCAB*やトリアゼン化合物が発ガン性を示すという証明は未だ行なわれていないし、実際の使用条件で問題になる程度にこれらの物質が蓄積するという証明もない。しかし、この辺のところをはっきりと実験データとしておさえておかないと、DCPA という世にもまれな素晴らしい選択性をもつ除草剤も、現在の公害反対論からくる攻撃の前にはキノホルムの運命をたどるかも知れないのである。

一方、CMMP (solan) も酸アニライド系除草剤であり、土壤微生物の作用をうけて加水分解され、3-クロル-4-メチルアニリン (CMA) を生じるが、これが DCPA との共存条件下では DCPA から生じた DCA との間でちがったベンゼン環同志のアゾベンゼン (3,3',4-トリクロル, 4'-メチルアゾベンゼン) をつくることになる。BARTHA²²⁾ は、この新化合物をハイブリッド残留物 (hybrid residue) とよんでいる。KEARNEY ら²³⁾ も、3-クロルアニリンと3,4-ジクロルアニリンとの間でハイブリッド的な3,3',4-トリクロルアゾベンゼンが生じることを報告している。

また、イネの体内で DCPA が DCA に加水分解される反応はその解毒系として抵抗性に役立っているが、DCA がさらに反応することもわかっている^{24), 25)} ので、その行方は追求されなければならない。

一方、DCA→TCABの反応は適当な増感剤の存在下で光化学反応としても進行するとされている²⁶⁾。

DCPA をとりあげただけでも以上のように多様な代謝経路が得られることは、まだまだこれ以外の経路や反応を数多く想定できることを示している。

視点がかわるが、いもち病用殺菌剤 PCBA (ペンタクロルベンジルアルコール) などのいわゆる有機塩素系殺菌剤が原因と考えられる野菜等への薬害問題は、PCBA → ペンタクロルベンジルアルデヒド → ペンタクロル安息香酸 → 2,3,5,6-テトラクロル安息香酸への代謝が土壌や堆肥中で進行し、もともと稲ワラや土壌中に散布された PCBA 等からの代謝産物のホルモン型除草剤的な影響と解釈されている。さらに塩素がとれて、2,3,6-トリクロル安息香酸となれば、これは TCBA として典型的な除草剤である。ここまで代謝されなくてもそのまゝの二つの化合物も植物に悪影響をもつと報告されている²⁷⁾。これらの代謝産物の実例は、作物にたいする農薬の安全使用の面より留意すべきものといえよう。

* BARTHA らが、ネズミに TCAB を、最初の3週間は4 mg/week, 次の37週間は10 mg/week 与えて飼育した場合、60週目の剖検では腫瘍形成がなかったと報告している¹⁷⁾。

7. 除草剤の夾雑物の毒性

わが国でも林地に使用されているホルモン型除草剤 2,4,5-T は試験動物に奇型を起こす性質すなわち催奇性をもつ¹²⁾とされており、過去にその製造工場従業員における皮膚病発生、2,4,5-T を施用したと考えられるトウモロコシを飼料としたニワトリの大量死、ベトナムにおける奇型児の異常出生等をその理由に、実際上でも問題があろうと主張されている。したがって、アメリカでは食用作物にはもちろん使用禁止されており、林業用にしても人畜よりはるかにはなれたところでなければ使用できないようになっている。

ところが、上述の 2,4,5-T の催奇性はその夾雑物である 2,3,6,7-テトラクロルジベンゾ-*p*-ダイオキシンが原因であることが判明してきた。2,4,5-T は、2,4,5,6-テトラクロルベンゼンを原料とし、これを加水分解して 2,4,5-トリクロルフェノールにかえ、モノクロル酢酸と縮合させてつくられるが、途中の 2,4,5-トリクロルフェノールは熱反応で2分子重合して上記のダイオキシン化合物を生じる訳である。その催奇性や急性毒性が極め

て強いため、夾雑物としては ppm オーダーでしか含まれていない 2,4,5-T 製剤でも問題視される。

一方、農薬は医薬品等とちがってその精製には限度があり、夾雑物混入のチャンスが多いことに注目する必要がある。

また、何が夾雑物として含まれ、どんな夾雑物に毒性があるかほとんど解っていない今日、ここまでは安全であるという証明のために、この方面の潜在的な危険性を追跡して特別の意識的な努力を必要とする。

8. 安全使用のための法的規制

上述のような数々の問題をもっている農薬を安全に使用するための法的規制はどうなっているだろう。ここで

は食品中に含まれる農薬の量（新しい法改正では、残留性の定義の中で農薬の成分である物質とその物質が化学的に変化して生成した物質とは同等に扱われている）を問題のないレベル以下に下げるとの法的規制²⁸⁾を順序を追って説明していくことにする。

まず、ある農薬の動物実験、場合によっては人体実験による FAO や WHO（世界保健機構）のデータをもとに人間における最大無作用量（maximum no-effect level）が決められる。これに普通 100 倍の安全係数をかけて ADI（acceptable daily intake, 1 日許容摂取量）が求められる。これに体重をかければ、その人が 1 日の

表 3 FAO・WHO 農薬残留専門家合同
会議が勧告した ADI* (1966)

化 合 物 (農薬名)	ADI (mg/kg (体重)/日)
アルドリン+デルドリン	0.0001
カーバリル (NAC)	0.02
DDT	0.01
DDVP	0.004
ジフェニル	0.125
γ -BHC	0.0125
ヘプタクロル+そのエポキシサイド	0.0005
馬拉ソン	0.02
ダイアジノン	0.002
ジメトエート	0.004
ホスファミドン	0.001
EDB および臭化メチル	1.0 (臭化物として)

* 1 日許容摂取量

うちに摂取する食品に混入していても安全な農薬量ということになる。この ADI に平均体重（日本人では 50 kg）をかけて得られる数字をもとにして農作物（食品）中の農薬残留許容量がきめられる。ADI × 平均体重を、その農薬をふくむ可能性のある農作物の 1 日当りの摂取量で割れば、この濃度が許容限界となる。ここで

minimum philosophy が適用され、以上のように計算されて出た数字が、防除上支障のない範囲で得られた実際の農作物の含有量よりも大きい場合にはもっと小さい残留濃度が規制濃度とされるわけである。

具体的な数字で説明すると、 γ -BHC の ADI は 0.0125 mg/kg (FAO・WHO 農薬残留専門家合同会議が勧告した値 (表 3) であるので、これに平均体重 50 kg をかけると 0.625 mg となる。BHC は広範囲の作物に使用されるし土壌からの汚染で施用作物以外にも及ぶであろうから、すべての農作物を対象として考え、日本人の 1 日あたりの農作物摂取量を 950 g と想定し、これらの数字から $0.625 \text{ mg} \div 950 \text{ g} \div 0.66 \text{ ppm}$ という残留許容量が求められるが、玄米の残留の実態値はこれよりもずっと低いので、0.3 ppm と決められた (表 4)。

このようにして食品（農作物）中の許容量が定められると、これは食品衛生法第 7 条にもとづく食品規格の一部となり、これ以上に含有する食品を販売することは法律上違反となる。全国の食品衛生監視員の抜取り調査 → 衛生試験所の分析の過程を経て、許容量を越えた農薬を含む食品は法律違反であるとして廃棄が命ぜられ、製造・販売したものが処罰されることもありうるわけである。

このような規制があっても、農作物の生産者である農家で収穫物の農薬残留量をひとつひとつチェックできるわけでないから、その品質管理をどうするかが実際上大きな問題となる。

そこで農林省では関係機関の協力を得て、どのような農薬の使い方をしたら対象作物にどの程度農薬が残留するかの大規模な調査・試験を開始している。その結果の解析から、農家ではどの程度に使用したら生産物中の残

表 4 農 薬 残 留 許 容 量 (単位: ppm)

農 薬	DDT	γ -BHC	アルドリン + デルドリン	エンドリン	パラチオン	EPN	ひ 素	鉛
食 品								
玄 米	0.3	0.3	検出せず	検出せず	検出せず	0.1	—	—
ナツミカン (皮)	0.5	0.5	〃	〃	0.3	0.5	3.5	5.0
ナツミカン (実)	0.3	0.5	〃	〃	0.3	0.1	1.0	1.0
日 本 ナ シ	1.0	0.5	〃	〃	0.3	0.1	3.5	5.0
ブ ド ウ	0.5	0.5	〃	〃	0.3	0.1	1.0	1.0
モ モ	0.5	0.5	〃	〃	0.3	0.1	1.0	1.0
リ ソ ゴ	1.0	0.5	〃	〃	0.3	0.1	3.5	5.0
イ チ ゴ	0.5	0.5	〃	〃	0.3	0.1	1.0	1.0
キ ャ ベ ツ	0.5	0.5	0.02	〃	0.3	0.1	—	—
キ ュ ウ リ	0.5	0.5	0.02	〃	0.3	0.1	1.0	1.0
ダイコン (葉)	0.5	0.5	0.02	〃	0.3	0.1	—	—
ダイコン (根)	0.5	0.5	0.02	〃	0.3	0.1	—	—
ト マ ト	0.5	0.5	0.02	〃	0.3	0.1	1.0	1.0
ホ ウ レ ン ソ ウ	0.5	0.5	検出せず	〃	0.3	0.1	1.0	5.0
バ レ イ シ ョ	0.3	0.5	〃	〃	検出せず	0.1	1.0	1.0
茶 (不酛酵茶のみ)	0.5	0.5	〃	〃	0.3	0.1	—	—

留量が問題でなくなるか、いわゆる農薬残留に関する安全使用基準をつくり出そうというわけである。

図4は、金沢²⁹⁾の報告をもとにして作図したものであるが、水稻に1回だけ BHC を施用したときの玄米中の全 BHC の検出量で、収穫時期より先行して散布すればするほど残留量の少ないことがわかる。また、BHC 剤を施用してない区における玄米にも 0.021 ~ 0.173 ppm の全 BHC が検出されており、これは土壤中に残留する BHC を吸収したためと考えられる。

図4 玄米中の全 BHC 検出濃度と散布時期との関係

注) 散布回数1回; 茨城: BHC 3% 粉剤, 10月10日
収穫; 石川: BHC 6% 粒剤, 8月30日収穫

図4の数値は全 BHC の検出量であるが、これを γ -BHC にかぎってみると、図4のサンプルについて 0.016~0.072 ppm の範囲に分布する。もちろん散布回数や散布量を増加すればその残留量は増加するが、 γ -BHC に関して上記茨城県の例で6回散布で 0.11 ppm, 5回で 0.093 ppm 等の数値が得られている。数多くの試料を分析した金沢の経験中の最高値は、BHC 3% 粉剤を穂ぞろい期に2回散布した試料玄米の γ -BHC 0.51 ppm であると報告されている²⁹⁾。これとても前に計算した γ -BHC の残留許容量 0.66 ppm よりも小さい値である。また、BHC の玄米中での分布は糠に多く、精白過程でその濃度は約 $\frac{1}{2}$ となる。こういうふうに見てくると、精白米に関する限り BHC の安全使用基準は従来の使用法に大きい制限をつける必要がないという答えが、理屈の上ではでてくる。しかし、稲ワラ → 飼料 → 乳牛 → 牛乳といった食物連鎖などによる濃縮など影響力の大きいことが考慮され、安全使用基準では

イネに使用しないことになっている。

安全使用基準はかなりの数の農薬について設定されているが、これには、各農薬・作物ごとに、使用しうる剤型・使用方法・使用回数の制限・収穫前使用禁止期間などを細かくきめている。これは、これらの要因が農薬の残留量に大きく影響するためであるが、金沢²⁹⁾が玄米中の BHC 残留量について重回帰分析に適用した結果では、これらの要因のうち最終処理から収穫までの経過日数をもっとも大きい影響を及ぼしており、上記基準の中でも収穫前使用禁止期間が重要視されている。

以上のような規制のほか、今後、新しく実用化される農薬については安全性を徹底的に検討したあとで登録されることになっている。昭和43年以降、新規化合物農薬の登録にあたっては、申請者より慢性毒性試験成績（さしあたって、2カ所以上の機関で実施したラット、マウスなど2種以上の動物を用いた連続3カ月以上の経口投与による亜急性毒性試験の成績）および農作物における残留量の調査結果の提出を求め、これについて農林・厚生両省において審査を行ない、仮の残留許容量を定め、安全使用基準に相当する使用上の注意事項を表示させるなどの措置をとったのち、登録するという制度になっている。昭和46年当初の取締法改正³⁾では、従来申請にあたって「農薬の薬効及び薬害に関する試験成績を記載した書類」を提出する必要があるのを「薬効・薬害・毒性および残留性に関する試験成績を記載した書類」というようにかえられている。また、前述のように指定農薬が、水質汚濁性農薬・作物残留性農薬・土壤残留性農薬* の概念に拡張され、これに伴う政令・省令の改正で、より厳密な取締りが行なわれることになる。

一方では、財団法人・残留農薬研究所の発足に伴って慢性毒性検定もかなり円滑に行われることが期待されるので、前述の毒性試験をもっと長期間にわたる投与試験の成績を基準にすることになる。

9. 今後の対策とむすび

基本的な考え方として次のことがあげられよう。上述のいくつかの事例からわかるように、除草剤をふくめて農薬の残留毒性についてはわかっていないことが多い。危険であるという証明がないからといって安全であるとはいえない。除草剤使用がいかに省力化に役立ち、生産費を少なくするのに役立ち、かつ農業者の精神的苦痛を

* 水質汚濁性農薬については許可なしに、他の2農薬については規定の使用基準に違反して使用した場合は罰せられることになっている。

も少なくしているかを実際に除草剤を使っている人達はよく知っているし、一方では、本論でも述べたように残留毒物の量的な問題を抜きにして質的な性格だけで悪者扱いをうけていることも事実である。しかし、もし除草剤の使用にとって不利な事象が想定されたとき、これを使う側から白であるとの強い証明が出されない限り、前述のように「米は余っている」の声をバックにこの事象は灰色から黒になる確率が大きいのが現状である。一度、灰色ないし黒と思われると、あとで白であると証明しても、食品や嗜好品をその生産物とする農業にとって暗いイメージをぬぐい去ることはほとんど不可能に近く、極端に言えば除草剤が使用できなくなることもありうるわけで、したがって世の中に先んじて白であることを積極的に宣言する必要もある。

こういった事態に対処するため、次のようないくつかの対応策が考えられよう。

(1) 農薬取締法を出発点とした諸規制、法律的な規制から農薬製品ラベル上の注意事項にいたるまでの規制項目を忠実に守って除草剤を使用すること。いろいろと実施上の困難さ、内容上の不十分さなども指摘できようが、ここでのべる諸規則は一応系統的に、ひとつのシステムをなすものであるから、やはりこの方法論が安全使用の第一義を構成することは間違いない。

(2) 除草剤のみにたよることなく、他の雑草防除手段をもできるだけ組合わせて、いわゆる総合防除体系をつくりあげること。化学的除草体系のでき上った現在、機械的あるいは耕種的手法への転換はいろいろと難点があるだろうが、できる範囲内でその可能性を追求すべきである。化学的除草体系の未完成の部門では、その発展途上で除草剤以外の手段をも積極的にとり入れる努力をなすべきである。水田における多年性雑草の増加が大きな問題になっているが、その理由として一年生雑草対象の除草剤ならびに反転耕ではないロータリー耕を主とした機械を連用したことがあげられている点などは、機械の使い方との関連で注目すべき事実であろう。

(3) 使用除草剤のローテーション。水田移植栽培用除草剤を考えた場合、同一の水田について少なくとも3種類以上の除草剤を用意できるまでになっている。これら除草剤は、混合剤をふくめて除草効果・安全性・薬価の点から考えてアマアアのもので、かつ異なった化学構造のグループに属するか、あるいは異なった作用機構をもつものである。除草剤のローテーションとは、これら選ばれた3種類の除草剤をそれぞれ3年に1度ずつ(4種類あれば4年に1度)しか使わないことを義務づけることである。いかに安全だと説明しても「毎年連続して

使っていて安全という証明がしてあるか」と反論されたとき、良心的に返答を用意することができようか。「3年に1度しか使っていないのだから」という逃げの手の方が、より説得力があるように思う。もちろん、ある薬剤についてある地域にそのシェアを確立するまでの販売人の血のにじむような努力を知らないわけではない。しかし、ローテーションの相互協力システムが確立すれば、次の年には別の地域で販売できる訳であるし、農業全体の死よりはずっとましであろう。

(4) 主要除草剤についての毒性関係検討。本文でも強調したように、除草剤そのものの慢性毒性は徹底的に調べ上げられるべきであるが、一方ではその除草剤がどのように代謝され、その中間代謝物の毒性はどの位か、また想定される夾雑物の毒性などについても組織的な検討が必要となる。また、実用条件下でこれら関連化合物がどの程度残留するかの追跡も必須のものとなろう。今回の農薬取締法の改正に伴うその施行細則の改変・追加を通じて、この方面の農薬製造業者の義務的検討事項が必然的にこの方面の仕事を推進させることになるだろうが、さしあたっては、すでに広汎な使用面積をもつ除草剤について自主的な検討がのぞまれる。

毒性問題はいろいろ複雑な要因に支配されるが、単独の除草剤のみでなく、他の除草剤あるいは殺菌・殺虫剤との相互作用をも考慮に入れる必要がある。相互作用の相手方は必ずしも農薬とは限らない。他分野からの化学物質、たとえば鉱山や工場の排水、ときには化学肥料中の夾雑物である場合もありえよう。

(5) 必要ある時にのみ必要な程度に除草剤を使う。わが国の農業では、従来、「上農は草をみずして草をとる」といった農本主義的思想のせいか、雑草害の認識が少なく、草のあるなしにかかわらず除草作業を行なう習慣がついている。もちろん、この習慣が耕地の清潔化に貢献してきたわけであるが、反面、不必要に多量の除草剤投入というまずさも認められる。従来の雑草害の研究^{30,31)}に、次年度への影響(とくに多年生雑草)を加味した形で新しい角度からの検討をもとにして、この時期にこういう雑草がこの程度しか生えていなければ除草作業を行なう必要はないといった指針が出される必要がある。多年生雑草でない限り、少なくとも現在のように1本も生えていない完ぺきさを求める必要はないといえよう。

このほかにも、生物学的防除、あるいは休閑田の除草対策等いろいろな問題がこのこされようが、結論的にいうならば、除草剤や生長調節剤(詳しくは述べなかった

が、収穫により近い時期に使用することを考えると、問題はより深刻である)の分野においても他の農薬と同じような事情であることは間違いないし、この観点からの組織的なかつ根本的なとりくみが必要な時期であろう。

引用文献

- 1) 中川恭二郎：植物防疫 **23**, 419 (1969).
- 2) 松中昭一：植物防疫 **23**, 438 (1969).
- 3) 松中昭一：新農薬創製法 (山本・野口編), p. 224 南江堂 (1965).
- 4) 赤塚伊巳・鈴木光一・鍛塚昭三：茨城大農学術報告 No. 17, 45 (1969).
- 5) 赤塚伊巳・鈴木光一・鍛塚昭三：茨城大農学術報告 No. 18, 印刷中 (1970).
- 6) 河村雄司：植物防疫 **23**, 71 (1969).
- 7) MATSUNAKA, S.: Science **160**, 1360 (1968).
- 8) 松中昭一：植物防疫 **20**, 220 (1966).
- 9) 官報 13218 号 (1月14日) (1971).
- 10) CARSON, R. L.: Silent Spring, Houghton Mifflin Co. (1962). (邦訳：生と死の妙薬。新潮社, 1964).
- 11) FDA. U. S. Dept. of Health, Education and Welfare, Nov. 17, 1959 Mimeo.
- 12) U. S. Dept. of Health, Education and Welfare: Report of the Secretary's Commission on Pesticides and Their Relationship to Environmental Health, Parts I and II (1969).
- 13) Van Esch, G. J. *et al.*: Brit. J. Cancer **12**, 355 (1958).
- 14) DAY, B. E.: Western Society of Weed Science Conference, March 1970.
- 15) BARTHA, R. and D. PRAMER: Science **156**, 1617 (1967).
- 16) BARTHA, R., H. A. B. LINKE, and D. PRAMER: Science, **161**, 582 (1968).
- 17) CHISAKA, H. and P. C. KEARNEY: J. Agr. Food Chem. **18**, 854 (1970).
- 18) PLIMMER, J. R. *et al.*: J. Agr. Food Chem. **18**, 859 (1970).
- 19) NEISH, V. J. P., H. M. DAVIES, and P. M. REEVE: Biochem. Pharmacol. **13**, 1291 (1964).
- 20) WEISBURGER, J. H. and E. K. WEISBURGER: Chem. Eng. News: **44**, 124 (1966).
- 21) The Merck Index. 7th Edition, p. 368 (1960).
- 22) BARTHA, R.: Science **166**, 1229 (1969).
- 23) KEARNEY, P. C., J. R. PLIMMER, and F. B. GUARDIN: J. Agr. Food Chem. **17**, 1418 (1969).
- 24) STILL, G. G.: Science **159**, 992 (1968).
- 25) YIH, R. Y., D. H. MCRAE, and H. F. WILSON: Science **161**, 376 (1968).
- 26) PLIMMER, J. R., and P. C. KEARNEY: No. 29 (Abstr.) 158th Meeting ACS, New York City, N. Y. (1969).
- 27) 行本峰子・後藤真康・吉田孝二：農薬検査所報告 No. 10, 62 (1970).
- 28) 後藤真康：植物の化学調節 **5**, 182 (1970).
- 29) 金沢 純：今月の農薬 **13** (9), 70 (1969).
- 30) 千坂英雄：雑草研究 **5**, 16 (1966).
- 31) 野田健児・小沢啓男・茂木和典：九州農試報告 **13**, 345 (1968).