関西自然保護機構会報12：13－16，1990

ゴルフ場で使用される農薬の環境運命予測

東　海　明　宏
（大阪大学工学部環境工学科）

はじめに

本研究は水道水源流域におけるゴルフ場の開発を飲料水への農薬の混入およびそのリスク評価という局面に限定して論じたものである。

ここで使う環境運命という用語は，農薬が土壌などに散布された後，当該物質の物理化学性状により土壌，水，大気へ配分され，また分解をうけながら大気，水の流動により広範囲にわたって輸送されていく現象を意味し，その目的は人または生態系への曝露濃度を推定することにある。したがって推定された曝露濃度におけるリスクの推定も重要な課題となる。

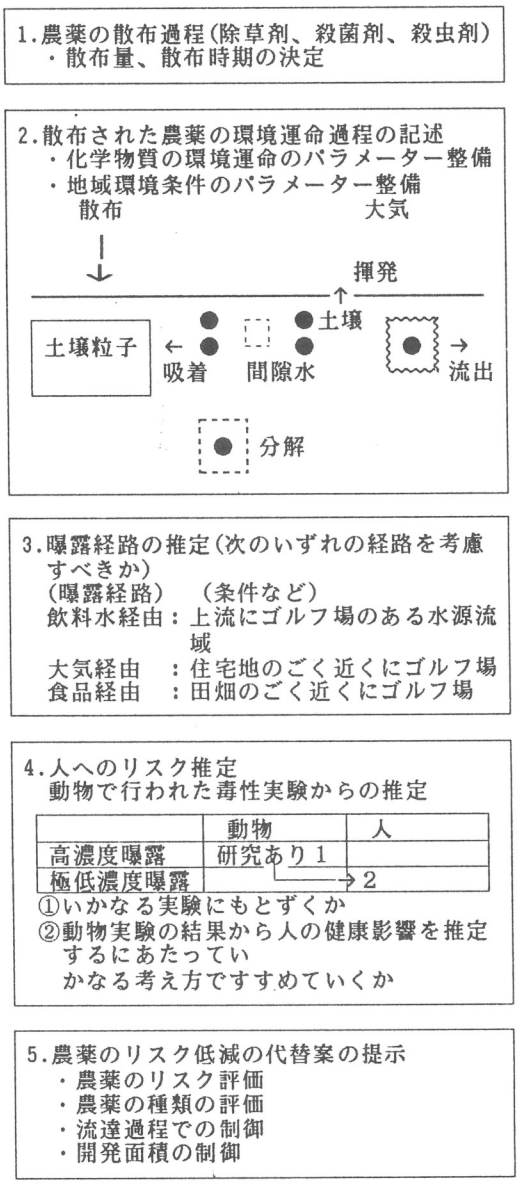
リスクという用語は当該曝露濃度における生体に発現する反応が確率的である場合を意味し，通常水道水の健康影響評価の分野ではある物質の毒性の反応率が10^{-6}となる濃度を１つのクライテリアとしている。

近年のゴルフ場の開発はすさまじいものがある。日本におけるゴルフ場の開発箇所数の変遷をみたものが図２．である。明らかにその経時的な増加率は著しく，しかも現在は第二次ゴルフ場造成ブームであるとさえいわれている。

環境運命予測とリスク評価の考え方

本研究の内容は図１．に示すとおり５段階からなる。それらは順に，環境進入量の推定，環境運命予測，曝露量推定，リスク推定，リスク回避のための代替案評価からなる。各々の段階で既存の統計資料，関係機関へのヒアリングなどで決められる値，なんらかの仮定を設けたうえで決める値，室内実験の結果を利用する場合，異なる地域での観測値を利用する場合がからみ

図１．本研究の構成



あうため最終結果は設定した値の信頼性に影響をうけることをふまえておくことが重要である。

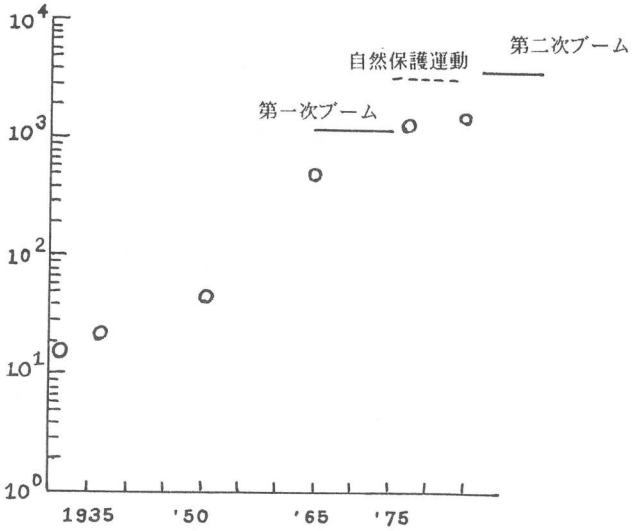


図2．日本におけるゴルフ場の数の変遷
明治　年にはじめてのゴルフ場が神戸六甲山頂に造成される。

環境進入量の推定

環境進入量の推定にあたっては全国のゴルフ場を対象とした，使用農薬の種類・散布量・散布時期に関してのアンケート調査の結果を利用した（日本グリーンキーパーズ協会，1986)。ゴルフ場で農薬の散布される場所をティー，フェアウェイ，グリーンにわけ各々についての農薬散布量の原単位をもとめた。農薬の用途は除草，殺虫，殺菌の3種類に分類することができる。ここでは各用途についてデータの整備状況，毒性の強さ，使用量などを考慮してシマジン，ダイアジノン，ダコニールを指標農薬とした。環境運命過程は既報（盛岡，東海，1987，Morioka and Chikami，1988）にしたがい，農薬の流出率（散布量のうちのダム湖へ流入しうる分）のみ試験流域での実測をもとに推定した。シマジンについての観測結果からダイアジノン，ダコニールについては土壌中農薬濃度と土壌間隙水中農薬濃度が平衡状態にたっしていると仮定して流出率を求めた。図3．に推定した流出率と千葉県下での観測値の結果をしめした（丸，1985)。測定値に比べ推定値はやや高い値をしめしている。この理由には流域の広さの違い，植生の複雑さなどが関連していると思われるが定量的な評価はおこなっていない。

農薬の運命予測

運命予測の定式化にあたってはゴルフ場，貯水池を水・大気・土壌のコンパートメントにわけそこでの農薬の収支式を流入，流出，分解，揮発，沈澱のメカニズムで表現し，流域末端に位置するダム湖水中での農薬濃度についての定常解をもとめた。

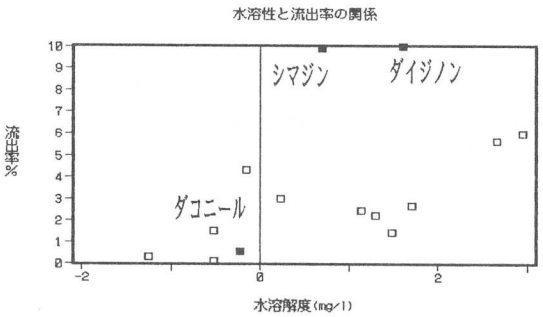


図3．農薬の水溶解度と流出率の関係
□：千葉県内河川での観測値，■：シマジン（実測値）ダイアジノン，ダコニール（モデルによる推定値）流出率は水溶解度に支配されていることがわかる。

農薬の曝露解析およびリスク推定

人が農薬を摂取する経路は飲料水，大気，食品の3つがある。

ここでは水道水源流域でのゴルフ場開発を想定しているため飲料水経由のみをとりあげた。また曝露される人の特性として大人と子供をとりあげた（ただし大人は体重60kg，一日飲料水摂取量2 ℓ/日，子供10 kg，1 ℓ/日)。

農薬の毒性の発現形態からリスクはあるしきい値をもった反応ととらえる非確率的影響とどんなに低濃度でもその曝露濃度におうじた影響が発現するとかんがえる確率的影響にわけて考える。

農薬の非確率的影響については各物質のＡＤＩ（Acceptable Daily Intake，一日許容摂取量）に対する計算された曝露量の比の値によって推定した。また確率的影響については発癌をとりあげ，低濃度外挿のモデル（ここではワン・ヒットモデル）をもちいて発癌リスクを推定した。この方法は従来のリスク推定の考え方の動物実験からの高濃度領域（用量に対しての反応率が数十％ていど）での用量－反応関係から毒性学的知見にもとづいてえられた実験結果に適合する数学モデルをたて，その数式に予測された農薬の環境濃度できまる用量に対する反応率を求めるという考え方に準拠している。結果を図４．にしめす。

農薬の散布量・散布回数については除草剤は春秋の２回でおのおの等量づつ，殺虫剤，殺菌剤については夏季を中心に５，６，７，８，９月において等量づつ散布すると仮定して計算した。もちろんこの仮定した散布方法は現実にはかならずしも適切に対応しているわけではないので散

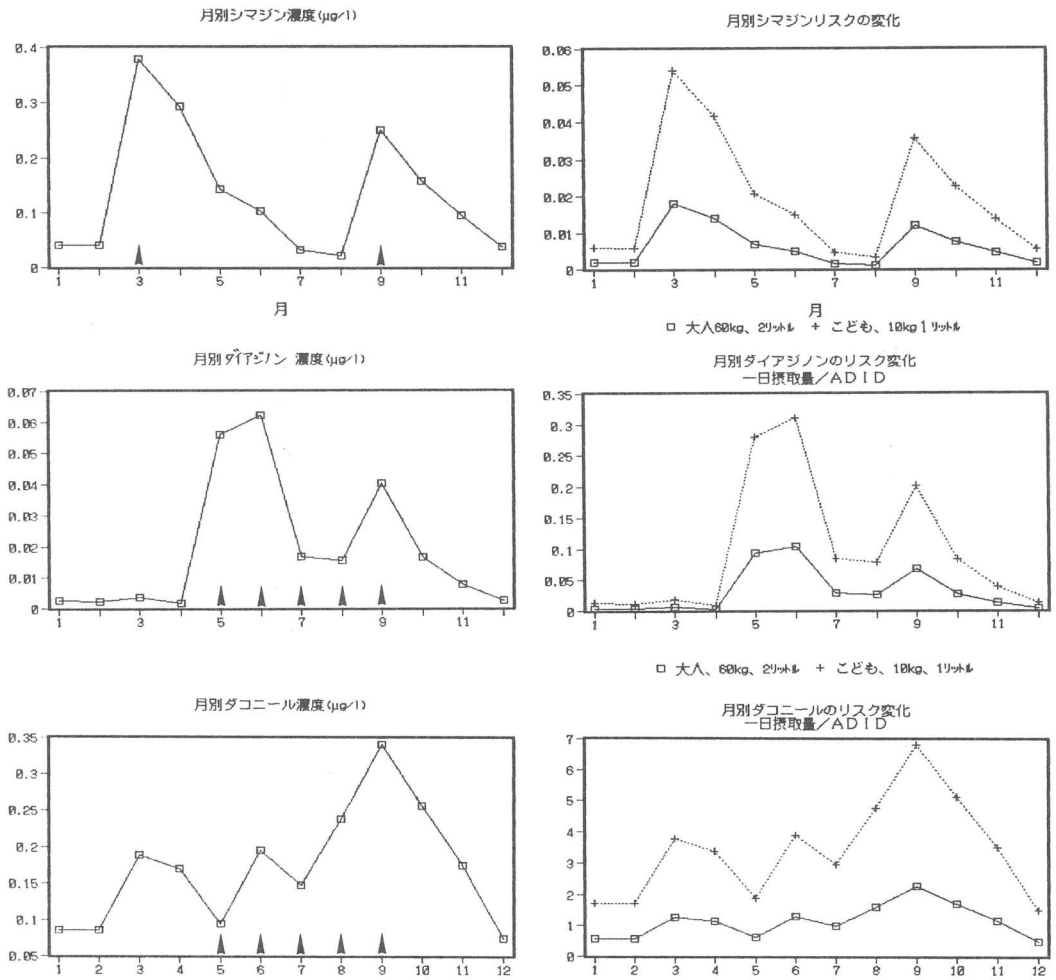


図４．指標農薬の月別濃度変化およびリスクの推定結果
▲：薬剤を散布した時期をしめしている。リスクの変化をしめしている図において□：大人の場合，＋子どもの場合をしめしている。

布条件が確定できる場合はその値を使用すべきである。

シマジンの濃度変動をみると散布された月において他の月に比べて高濃度となっているが，ダイアジノン，ダコニールについてはその散布直後という条件よりも気象条件によって農薬のうける影響（分解，揮発など）が強いことが推定できる。非確率的影響をみた場合，シマジン，ダイアジノンではＡＤＩをこえてはいないが，ダコニールでは本計算結果ではＡＤＩをこえることがしめされた。

発癌性のレベルとしてはシマジン，ダイアジノン，ダコニールについておのおの10^{-8}，10^{-7}，10^{-6}のレベルであった。

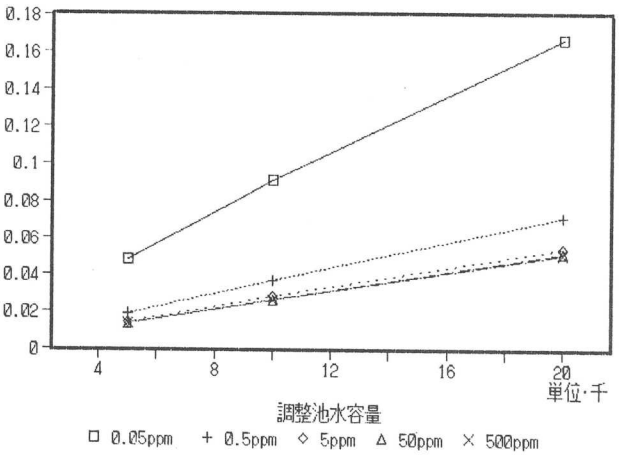


図５．調整池における農薬の除去率と水溶解度との関係
農薬の水溶解度（ppm）：□（0.05），＋(0.5)，◇(5)，△(50)，×(500）水溶解度0.05ppm以下の農薬は多くはないことから調整池での除去はあまり期待できない。なお，調整池の水を再利用した場合は当然除去率は全体的に増加する。

リスク低減のための代替案評価

農薬によるリスク低減のための代替案はおおきくは開発面積の規制，農薬の流達過程での制御，より安全な農薬の選択と３段階にわけられるが，ここでは流達過程のうちの調整池における農薬の除去効果について検討した。農薬の水溶解度をパラメーターとして除去効果をみたのが図５．である。水溶解度が0.05ppmていどといったきわめて難水溶性の農薬以外の除去効果はあまり期待できないことがわかった。

おわりに

昨年末あたりからゴルフ場における農薬の安全使用に関する指導要項が各県においてさだめられてきているが，ここにしめした運命予測・リスク評価の手法はそれを実地に適用する際に有効であると考える。

引　用　文　献

佐藤．1988．芝生と緑化．日本芝生草学会編：262－265

日本グリーンキーパーズ協会．1986．昭和60年度コース管理アンケート集計報告

丸　諭．1985．千葉県内河川の農薬のモニタリング．生態化学：3－9

盛岡，東海．1987．化学物質の環境リスク評価のための運命予測モデルの適用．衛生工学研究論文集，Vol. 23：115－126

Morioka. T. and Chikami, S. 1988. Basin-wide Ecological Fate Model for Management of Chemicals Hazard, Ecological Modelling, Vol. 31：267－282