

②

除草剤の連年施用下におけるクログワイの  
個体群動態とその効果的防除に関する研究

稲 村 達 也

# 除草剤の連年施用下におけるクログワイの 個体群動態とその効果的防除に関する研究

稲 村 達 也

## 目 次

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 緒 言                               | 1  |
| 第1章 クログワイの形態と除草剤処理の影響             |    |
| 第1節 茎の出現順序および株基部の形態               | 5  |
| 第2節 除草剤による地上部生育の抑制と根茎および塊茎の形成との関係 | 9  |
| 第2章 除草剤連用下におけるクログワイ個体群の動態         |    |
| 第1節 除草剤による地上部の生育抑制の判定指標と塊茎の形成     | 20 |
| 第2節 塊茎の萌芽および生存                    | 34 |
| 第3章 クログワイの生育許容限界から見た防除目標          |    |
| 第1節 クログワイの生育許容限界                  | 47 |
| 第2節 クログワイ生育過程のモデル化と水稲への雑草害の予測     | 57 |
| 第4章 除草剤連年施用の効果の確認と普及における問題点       |    |
| 第1節 現地試験による効果の確認                  | 69 |
| 第2節 クログワイにおける除草剤感受性の地域間の差異        | 74 |
| 第3節 除草剤の散布法と散布所要時間                | 79 |
| 第4節 連年施用の経済性                      | 83 |
| 第5章 総合考察                          |    |
| 1 クログワイ地上部生育の判定指標                 | 84 |
| 2 クログワイ個体群の動態と除草剤連用の効果            | 86 |
| 3 クログワイ個体群動態のモデル化と効果的な防除目標        | 87 |
| 4 連年施用の効果の確認と普及の可能性               | 88 |
| 5 今後の課題                           | 88 |
| 総合摘要                              | 90 |
| 引用文献                              | 92 |

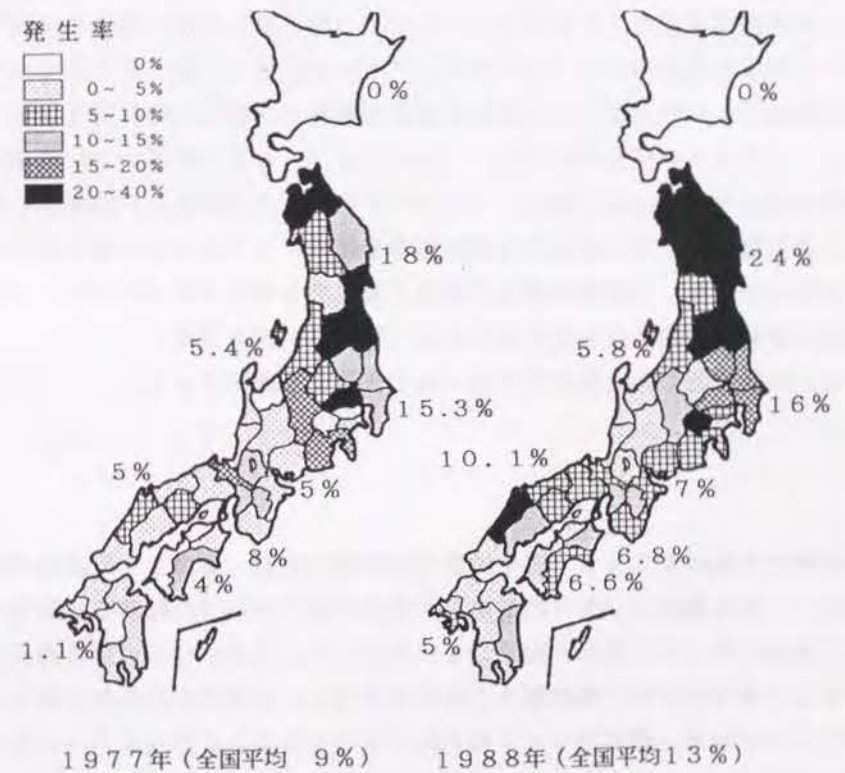
## 緒言

クログワイ (*Eleocharis kuroguwai* Ohwi) は江戸時代の農書<sup>35,40)</sup> にも見られ、古くから水田の強雑草として知られている。クログワイはカヤツリグサ科 (*Cyperaceae*) の水田多年生雑草で、草姿はホタルイ (*Scirpus juncooides* Roxb.) に酷似している。クログワイの茎は中空で内部に多数の横隔膜があり、夏に茎の先端に黄褐色・円柱状の穂を付け、地下に直径 1cm 前後の塊茎を多数つくる。繁殖は塊茎による栄養繁殖が主であるが、種子繁殖もある<sup>34)</sup>。

水田における多年生雑草の発生面積は、ホタルイ 89 万 ha、ウリカワ (*Sagittaria pygmaea* Miq.) 58 万 ha、ミズガヤツリ (*Cyperus serotinus* Rottb.) 39 万 ha およびオモダカ (*Sagittaria trifolia* L.) 41 万 ha と推定される。クログワイはオモダカ<sup>22)</sup> とともに水稲栽培において最も防除が困難な雑草の一つで、その発生面積は 25 万 ha とされている (1988 年日本植物調節剤研究協会調べ)。東北および関東地域での発生が多く、ほぼ全国で増加傾向にあるが東北、中国および九州地域での増加が著しい (第 1 図)。本種の防除が他の雑草に比較して困難な原因として、その旺盛な生育力と増殖力および主な発生源である塊茎からの特有な発生生態<sup>5,20,21,34,37-39,41,53,61,62)</sup> が指摘されている。塊茎からの出芽の不斉一性と発生土中深度が深いという理由のみならず、クログワイの群間変異およびクローン間の防除上重要な諸特性における変異に起因している可能性が十分にある<sup>34)</sup> とされている。また面積増加の原因としては、水稲作期の前進<sup>61)</sup>、他の草種に幅広く有効な除草剤の普及による競合雑草の減少および発生源としての未管理休耕田の増加<sup>4)</sup> 等が指摘されている。クログワイの発生量が多くなると水稲の穂数、一穂穎花数および登熟歩合が低下する。さらに密生すればクログワイが風で倒れ水稲を押し倒し、20<sup>62)</sup>~30<sup>23)</sup> % 減収することが知られている。発生量が著しく機械による収穫作業が困難となれば休耕田となり、新たな発生源となる場合も見られる。現在、多年生雑草に幅広く有効で除草期間の長い除草剤が多数開発されている。しかしながら特異な発生生態を示すクログワイは、除草剤による防除が困難な難防除雑草の代表種と考えられ、効果的な防除法の早急な開発が望まれている。

クログワイの生態や防除についての研究は、1960 年代より数多く実施され、その多くは小林の総説<sup>34)</sup> に詳しく紹介されている。クログワイ防除には除草剤の体系処理が必要とされ<sup>10,64)</sup>、除草剤を 2 年連用する試験<sup>50)</sup> および 1981 年から 1983 年にかけて伊藤<sup>21)</sup> による体系防除の 3 年連用試験が実施されている。また、1987 年から除草剤の 3 年連用試験<sup>45)</sup> が日本植物調節剤研究協会の委託により植調試験地を含め各府県の農業試験場で実施されている。近年は、クログワイに効果を示す除草剤の開発とそれに伴う効果試験に関す

る報告<sup>7-9,24-26,47,48,55-57)</sup> が多数を占めるとともに、薬剤を用いない防除<sup>48)</sup> も試みられている。クログワイの生活史と防除効果の関係を総合的に論じた報告<sup>21,29,37,38)</sup> は少ないものの、クログワイ塊茎の生産性、萌芽性および寿命等の防除上重要な繁殖に関係する諸形質とクローン間変異、および要防除期間に関すること等の検討が行われてきた。また、クログワイに有効なスルホニルウレア系除草剤および有効な処理法が明らかとなったが、どの除草剤もクログワイを完全に枯殺するには至らず、クログワイの発生量を水稲栽培上問題のない程度とするには 2~3 年の除草剤連用が必要となることが確認されたに留まっていた。クログワイの繁殖に関係する諸形質についての個々の研究成果単独では、クログワイの地上部生育の抑制と塊茎の動態との関係を総合的に論ずることができず、本種の生態的特性を考慮した除草剤による防除目標の統一的理解<sup>21)</sup> は見いだせなかった。つまり、クログワイの防除目標を設定するためには、クログワイの個体群の動きを連年で理解し、繁殖に関係する諸形質についての個々の研究成果をより大きなシステム (クログワイの個体群) の動きとして体系化することが必要と考えられる。



第 1 図 全国におけるクログワイ発生率の推移  
 注) 1. 発生率は、水稲作付け面積に対するクログワイの発生面積の割合。  
 2. データは、農作物の除草に関する実態調査報告書 (日本植物調節剤研究協会) による。

著者は、1987年から1991年にかけて奈良県農業試験場の水田由来のクログワイ集団に対して主にスルホニルウレア系除草剤9剤を用いて除草剤の3年連用試験<sup>14-17)</sup>を実施した。本研究は、そのデータを中心にクログワイの生態とその効果的な防除について取りまとめたものである。その特徴は、クログワイの自然発生水田で除草剤の連年施用試験が実施され、クログワイ地上部の生育抑制の判定指標を策定することにより塊茎の連年動向がクログワイ地上部生育の抑制との関係で系統的に解明されている。そしてシステム生態学的手法を用いクログワイ生育の連年動向のモデル化を行い、クログワイの生育許容限界から見た除草剤連用下における効果的な防除目標を策定した点である。そのために、次のような点を明確にすることを目的とした。

(1)クログワイの塊茎の動態と緊密に関係するクログワイの地上部生育程度の簡易な判定指標の策定のため、塊茎形成に関与する形質と塊茎形成の過程を形態的に明らかにする(第1章)。

(2)クログワイの地上部生育程度の簡易な判定指標を用い、除草剤の連用下における塊茎の形成、生存と枯死および萌芽という塊茎の連年動向と地上部生育程度との関係を解明する。そして、除草剤連年施用下におけるクログワイの地上部生育量の動向を予測できるようなクログワイの生育過程のシミュレーション・モデルを導く(第1章と第2章)。

(3)水稲収量の減少から見たクログワイの生育許容限界を水稲の生育時期別に明らかにする。そして、クログワイの生育過程のシミュレーション・モデルを用いて除草剤連用下における地上部生育の連年動向を予測し、クログワイの生育許容限界との関係から除草剤の連用下における複数年次で見た効果的な防除目標を提示する(第2章と第3章)。

(4)本研究で明らかになった防除目標を広範囲で使用できるようにするため、今後なさなければならぬ研究上の問題点を明らかにする(第4章と総合考察)。

ここに、以上の研究成果の概要を取りまとめて報告する次第である。

【謝辞】研究の実施に当たって、前中国農業試験場の渡辺 泰博士(現農業研究センター総合研究官)、農業研究センターの芝山秀次郎博士および前奈良県農業試験場長の黒田喜佐雄博士の各氏に多くのご教示と励ましをいただいた。クログワイの生育過程のモデル化では、京都大学農学部の中江武教授のご指導を受けた。本研究の最終的な取りまとめは、京都大学農学部の草薙得一教授のもとで行われたものである。これらの方々に心から謝意を表すものである。

本研究の遂行中には、奈良県農業試験場の元研究員の渡辺英信氏と現研究員の西尾和明、浦崎孝行の両氏、技能員の津田求、田中公伸、丸山良司、吉田弘の各氏を始め奈良県農業試験場の多くの職員の方々にも多大のご協力を得た。さらに現地調査では、徳山博康元専

門技術員、奈良県郡山農業改良普及所、奈良県桜井農業改良普及所および農家の方々に調査場所の提供と調査で支援をいただいた。本研究で特に重要で多労を要したクログワイの塊茎調査には、日本植物調節剤研究協会および関係農薬会社にご協力をいただいた。

ここに、この研究が非常に多くの方々のご協力の下に実施できたことを記して厚く感謝の意を表する次第である。

# 第1章 クログワイの形態と除草剤処理の影響

## 第1節 茎の出現順序および株基部の形態

クログワイにおける塊茎からの出芽は、きわめて長期にわたる。旺盛な分株（第2図）を繰り返した後、土中を下方に伸長する根茎を多数作り、夏の終り頃からその先端に塊茎を形成する<sup>34, 35</sup>（第3図）。しかし、その塊茎形成過程の詳しい報告は少ない。そこで、除草剤処理下におけるクログワイの塊茎形成の動向を詳しく検討する前に、塊茎形成と緊密に関係すると思われるクログワイの茎の出現順序および株基部の観察を行った。

### 材料および方法

#### 1. 耕種概要

試験は、1/2000 a ワグネルポットを使用し、奈良県農業試験場内で1991年に実施した。供試クログワイは、奈良農試場内16号水田に自然発生するもの（以下、奈良群）である。供試水田に発生するクログワイは、小林による分類<sup>34</sup>と比較して水田群と判断した。すなわち、草丈は水稲と同程度となり、比較的小型の塊茎を9月上旬から水稲が収穫される10月上旬まで多数形成した。

供試ポットは、場内5号水田の土壌を充填し、突き固めて鋤床面を作り深さ15cmの下層土とした。鋤床面上には、前年に形成された直径10mm以上の前述の塊茎をポット当り10個ずつ円形に並べ、10cm覆土して作土とし、湛水深は5cmとした。塊茎の置床と代かきは、奈良県平坦部における水稲の普通移植期に準じた時期として、1991年6月20日に行った。基肥は三要素成分量で各0.5kg/aを代かき時に、穂肥はチッソおよびカリ成分量各0.3kg/aを8月3日に、それぞれ施用した。

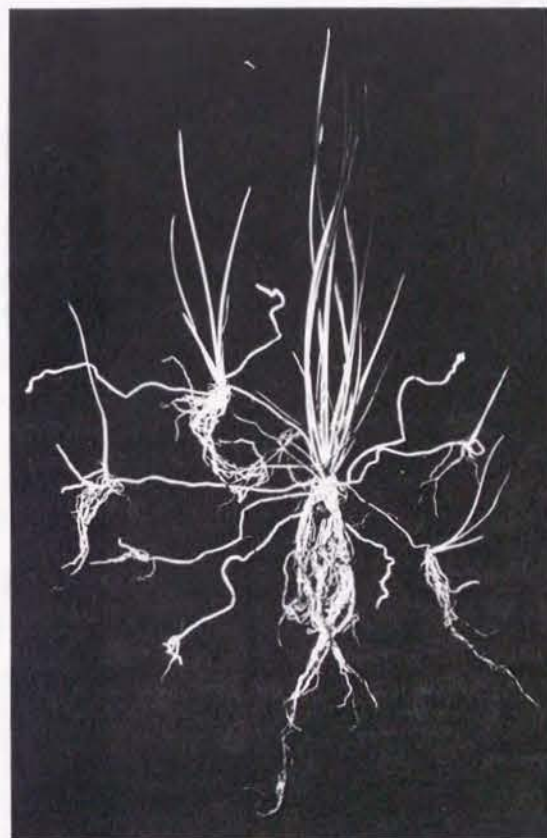
#### 2. 調査方法

株は、塊茎形成終期（10月30日）に堀上げ、根洗い後に株の基部を横または縦に切断した。切断面における、茎、根茎および根の出現と維管束の連絡の様相を低倍率顕微鏡で観察した。

## 結果

#### 1. 茎の出現順序

茎の出現順序と茎の基部における塊茎を作るための根茎の形成との関係を知るため、株基部の横断面を詳細に観察した（第4図）。横断面Aから上部の横断面Cへと茎の内部形態を見ると、断面Aでは3本の茎（I-1, 2, 3）の内側に維管束が3つの輪状に集中し、



第2図 クログワイの分株様式

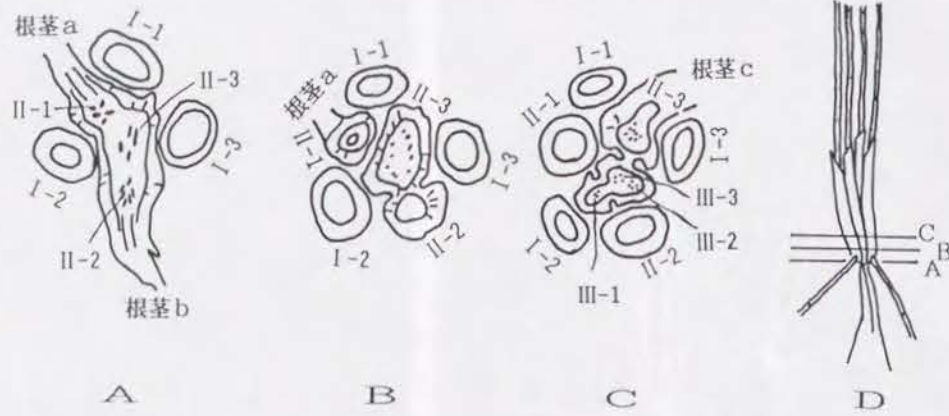


第3図 地上部生育と塊茎の形成

次の3本の茎の維管束に連絡しているのは明らかである。断面Bでは、断面Aの維管束がそれぞれ別の茎（II-1, 2, 3）として分れており、塊茎を作るための根茎（根茎a）の維管束との連絡関係も明瞭である。そして断面Cでは、断面Bで最後に維管束が分れていく茎（II-3）から新しい維管束群が分れ、次の茎（III-1, 2, 3）の維管束の連絡が確認された。

#### 2. 株基部の形態

塊茎を作るための根茎と子株や孫株などを作るための根茎<sup>34, 35</sup>との関係を知るため、株基部の縦断面を詳細に観察した（第5図）。塊茎を作るための根茎（根茎d）は、生存している茎の基部に形成された。しかし、孫株を作るための根茎（根茎f）は、株の基部に形成されている様に伺えた。また、子株や孫株などを形成する根茎は、株の中心から外側へ数えて10本目前後の茎においてもかなりの頻度で形成された。根は、茎が枯死して茎の上部が脱落した茎および株の基部に多く存在した。そして、根が茎の基部付近に形成される場合、塊茎を作るための根茎の形成位置より茎の先端側で形成されることはなかった。



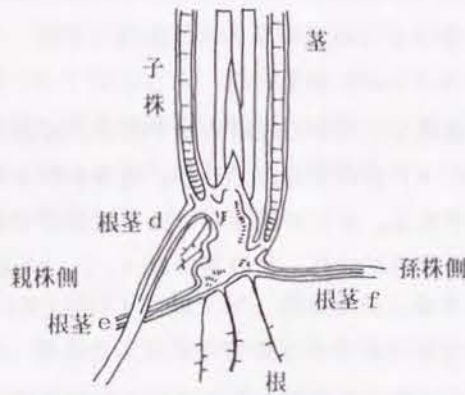
第4図 株基部の横断面から見た茎の出現秩序 (1991年試験)

注) 1. 横断面AからB, そしてCと茎の出現過程を示す (D図参照)。

2. 図Dは, 横断面A, BおよびCの位置を示す。

3. ローマ数字は同時期に出現した茎を, アラビア数字はその茎の出現順序を示す。

4. 根茎は, 塊茎を形成可能なもので, 同じ文字は同一の根茎を示す。



第5図 株基部の縦断面に見た根茎の形成 (1991年試験)

注) 1. 根茎dは, その先端に塊茎を形成するもの。

2. 根茎eおよびfは, 子株もしくは孫株を作るためのもの。

茎の出現順序は, 葉序に見られる3輪生と同様と推察され (第4図), 茎が形成された順に株の外側の茎から内側の茎へと順次, 茎を取り外すことができると判断された。また, 塊茎を作るための根茎は茎の基部に形成され (第5図), 塊茎を作るための根茎と子株や孫株などを作るための根茎の形成位置が離れている (第5図) ため子株や孫株などを作るための根茎を気にせず, 前述の方法により, 塊茎を形成する根茎を付けたままで茎を取り外せられると思われた。この様にすれば, 塊茎を作るための根茎と茎の諸形質の関係を茎の新旧に応じて調査するための試料を容易に作成できると思われた。

摘 要

塊茎形成と緊密に関係すると思われるクログワイの茎の出現順序および根茎の形成の観察を行った。

1. 茎の出現順序は, 葉序に見られる3輪生と同様と推察された。

2. 塊茎を作るための根茎は, 生存している茎の基部に形成された。

3. 子株や孫株などを作るための根茎は, 塊茎を作るための根茎とは異なる位置に形成された。

4. 塊茎を作るための根茎と茎との関係を調査する場合は, 茎を株の外側から内側へと茎の形成順に取り外すのが良いと判断された。

## 第2節 除草剤による地上部生育の抑制と根茎および塊茎の形成との関係

前節では、クログワイの塊茎形成と緊密に関係すると思われる茎の出現順序および塊茎を作る根茎と娘株を作る根茎の位置関係を検討した。本節では、前節の結果をもとに、除草剤処理下における塊茎の形成動向、つまりクログワイ地上部生育の抑制下での根茎の形成過程、並びに地上部生育の抑制および根茎の形質が塊茎の形成や分布に及ぼす影響について調査した。

### 材料および方法

#### 1. 試験区の構成と耕種概要

試験は、1/2000 aワグネルポットを使用し、奈良県農業試験場内で1990年と1991年に実施した。供試クログワイは、奈良農試場内16号水田に自然発生するもの（以下、奈良群）および1990年に農業研究センターより譲渡された谷和原水田圃場産のもの（以下、谷和原群）である。

ポットへの土壌の充填、塊茎の置床方法および施肥は、前節と同様とした。塊茎の置床と代かきは、奈良県平坦部の水稲普通移植期に準じた時期として、1990年6月13日および1991年6月20日に行った。

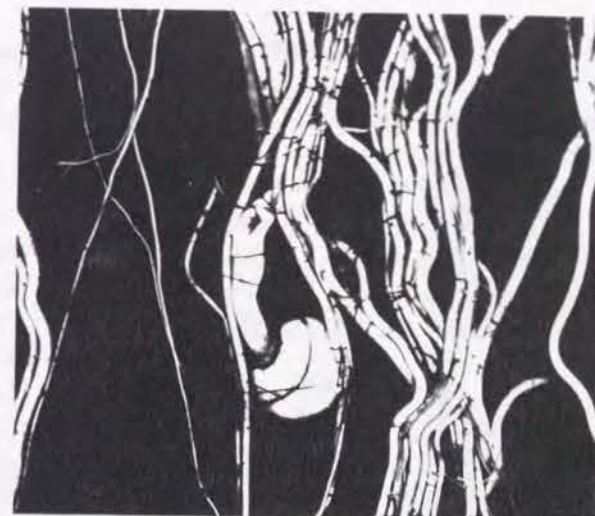
除草剤は、DPX-84<sup>①</sup>粒剤（ベンズルフロメチル 0.17%、以下DP剤）およびNC-311粒剤（ピラジスルフロエチル 0.07%、以下NC剤）を用い、最長株の草丈が5cmとなる直前に製品量で300g/a処理した。処理は1990年6月26日および1991年7月1日に実施し、処理後2週間は雨よけハウスを設けた。ポットは常時湛水としたが、7月20日から1週間は中干しを実施した。

ポット試験と別途に、容量680mlの透明プラスチックカップを使用して同様の試験を平行して実施し、塊茎形成を底面から観察した。

反復数は、前者のポット試験を9、後者のカップ試験を10とした。

#### 2. 調査方法

調査は、無処理区の塊茎形成始期、同盛期および同終期に相当する各時期に、全ポットの草丈、株数および茎数を測定した。また各試験区2ポットずつの根洗いを行い、塊茎数、塊茎生体重、塊茎の最大直径（最大直径を持つ塊茎横断面の直径）および根茎長を計測した。1991年は、除草剤処理および無処理区ともに、塊茎形成終期（10月30日）に親株および子株の合計10~15株の草丈を測定後、前節に準じて株の外側から内側へと茎を形成順に取り外した。そして、各茎における根茎の有無、根茎の長さおよび根茎基部の直径、塊茎形成の有無、茎長および茎基部の直径を全茎調査した。塊茎形成始期は、塊茎の直径が5mmに達した時とした（第6図）。



第6図 塊茎の肥大始期<sup>13)</sup>

### 結果

#### 1. クログワイの生育と除草剤処理の影響

第1表は、塊茎形成盛期における供試クログワイの生育や塊茎形成等に対する除草剤処理の影響を示したものである。同表の無処理区に見られるように、谷和原群は、奈良群と比較して平均草丈は高いが株数が少なく、大型塊茎を早くから形成するクログワイであった。奈良群の無処理区におけるクログワイの平均草丈は40cmであり、圃場試験の場合<sup>22)</sup>の半分程度であった。しかしポット当たり株数は圃場<sup>22)</sup>の4~47倍、生産塊茎数は圃場<sup>22)</sup>の3~5倍と著しく多くなった。除草剤処理の影響は、平均草丈、株数、塊茎数およびその他の諸形質で見られた。処理の効果は、群間では奈良群そして薬剤間ではNC剤で強く現われた。奈良群および谷和原群における除草剤処理効果の傾向は、稲村<sup>22)</sup>および神名川<sup>26)</sup>の報告とほぼ同様であった。

#### 2. 根茎数、根茎長および塊茎形成等の形質に影響を及ぼす特性

##### (1) 根茎を形成する茎の特性

第7図は、前節で明らかになった茎の出現順序で見た場合の根茎を形成する茎（以下、根茎形成茎と略）の割合（調査株数対比、以下同様）と除草剤処理による抑制との関係を示したものである。塊茎を形成する根茎（以下、塊茎形成根茎と略）をもつ茎の割合は、両群の各処理区において株の中心から外側へ向かって3本目までの茎（茎の順位で10~8）で高く、茎の順位7~5から茎の順位4~2へと急減する傾向を示した。一方、根茎形成

第1表 クログワイの生育および塊茎形成等に対する除草剤処理の影響

| 群           | 除草剤<br>処 理 | 平均草丈<br>cm | 株数<br>株/pot | 茎数<br>本/pot | 茎基部の<br>直径 mm | 塊茎形成<br>始期 | 塊 茎 数<br>個/pot 個/株 | 塊茎直径<br>mm | 根茎長<br>cm | 根茎基部<br>の直径 mm |
|-------------|------------|------------|-------------|-------------|---------------|------------|--------------------|------------|-----------|----------------|
| 奈<br>良      | 無処理        | 40         | 85          | 575         | 1.99          | 8月26日      | 121 1.42           | 8.53       | 15.9      | 1.72           |
|             | DP 剤       | 32         | 67          | 483         | 1.79          | 9月 6日      | 26 0.39            | 7.25       | 12.9      | 1.50           |
|             | NC 剤       | 18         | 53          | 595         | 1.61          | 9月14日      | 10 0.19            | 1.96       | 3.8       | 1.48           |
| 谷<br>和<br>原 | 無処理        | 51         | 53          | 305         | 2.40          | 8月15日      | 141 2.66           | 9.10       | 16.7      | 1.76           |
|             | DP 剤       | 39         | 48          | 328         | 2.28          | 8月21日      | 111 2.31           | 7.55       | 12.9      | 1.46           |
|             | NC 剤       | 33         | 32          | 311         | 2.20          | 9月 2日      | 78 2.44            | 5.46       | 7.3       | 1.38           |

注) 1. 調査は塊茎形成盛期に実施、1990年において奈良群は 9月17日、谷和原群は 9月11日、1991年は両群とも 9月19日。  
 結果は2ヶ年の調査の平均値。 2. 塊茎形成始期は塊茎直径が5mmに達した日。  
 3. 平均草丈：草丈の全株平均値、塊茎直径：塊茎赤道面の最大直径、茎及び根茎の基部の太さ：根茎の分化位置の付近。  
 4. DP剤：DPX-84(Ⓓ)粒剤、NC剤：NC-311粒剤。

茎の割合は、茎の順位 7～ 5においても茎の順位10～ 8と同様に高い場合が認められるが、それらの茎よりも外側の茎では低下する傾向を示した。

根茎形成茎の割合に対する除草剤処理の抑制効果は、奈良群ではDP剤区が、谷和原群ではNC剤区が顕著であった。しかし、塊茎形成根茎をもつ茎の割合の場合は、薬剤間では両群ともNC剤区が顕著で、群間では両剤とも奈良群で抑制効果が強く現われた。

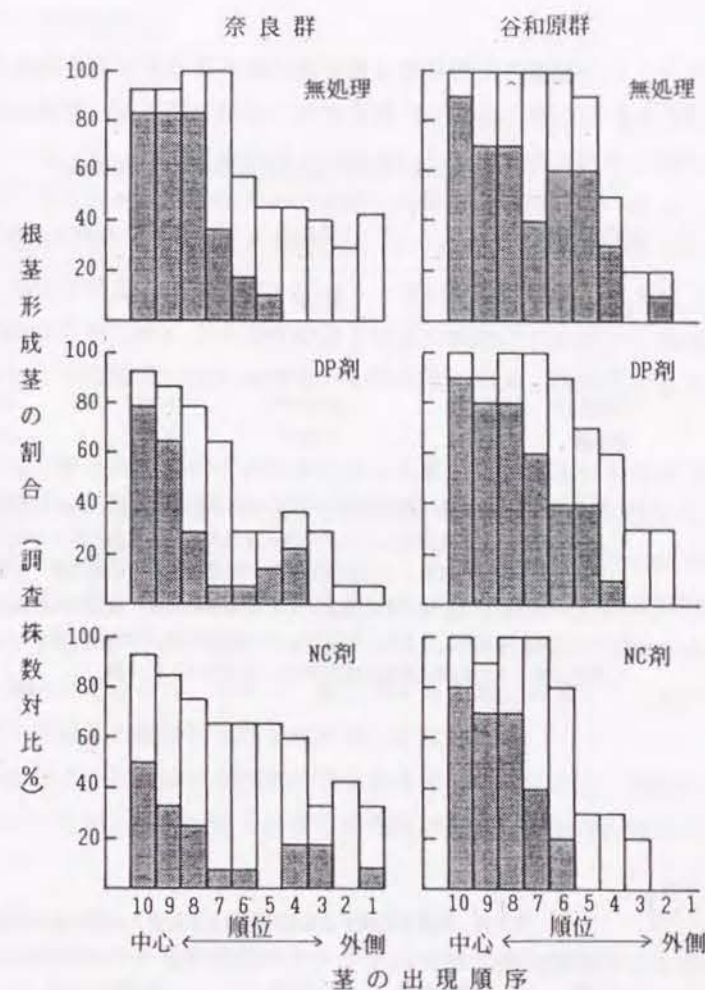
### (2)根茎数

株ごとの根茎数と、平均茎長、茎基部の太さの平均および株当り茎数との間の偏相関係数を求め、第2表に示した。全根茎数は、株当り茎数との間に両群において 0.1%水準で、茎基部の太さの平均との間に奈良群において 1%水準で有意な偏相関が認められた。

塊茎形成根茎数は、平均茎長との間に奈良群において 1%水準、谷和原群において 5%水準で、また株当り茎数との間には奈良群において 5%水準で有意な偏相関が認められた。

### (3)塊茎形成根茎の形質と茎形質との関係

塊茎形成根茎の長さあるいは根茎基部の太さと茎長および茎基部の太さとの間の偏相関係数を求め、第3表に示した。奈良群においては、根茎長は、茎長との間に 0.1%水準で、茎基部の太さとの間に 5%水準で有意な偏相関が認められた。また同群の根茎基部の太さは、茎基部の太さとの間に 5%水準で有意な偏相関が認められた。谷和原群の根茎長は、茎長との間に 0.1%水準で、そして根茎基部の太さは茎基部の太さとの間に 0.1%水準で有意な偏相関が認められた。



第7図 出現順序別に見た根茎形成茎の割合と除草剤処理による抑制 (1991年試験)

注) 1. 茎の出現順序は、株の外側の古い茎から内側の新しい茎へと数え、外側から順に番号を付け、茎の順位とした(第4図参照)。  
 2. 調査株数：奈良群の各処理区10株、谷和原群の無処理区およびDP剤区 9株、NC剤区 8株。  
 3. ■：塊茎を形成する根茎を持つ茎数の調査株数に対する割合(塊茎は直径 5mm以上)。  
 □：塊茎を形成しない根茎を持つ茎数の調査株数に対する割合。  
 4. 調査は塊茎形成終期(10月30日)に実施。



第2表 株当たり根茎数と各要因間の偏相関係数

| 根茎数の分類  | 群   | 平均茎長    | 茎基部の太さの平均 | 株当たり根茎数  | n  |
|---------|-----|---------|-----------|----------|----|
| 全根茎数    | 奈良  | -0.135  | 0.461**   | 0.551*** | 36 |
|         | 谷和原 | 0.268   | 0.240     | 0.827*** | 30 |
| 塊茎形成根茎数 | 奈良  | 0.506** | -0.097    | 0.409*   | 36 |
|         | 谷和原 | 0.451*  | 0.171     | 0.281    | 30 |

注) 1. 除草剤処理および無処理区を含めた1991年試験の調査結果。 2. 平均茎長および茎基部の太さの平均は、調査株それぞれの全茎の茎長および茎基部の太さの平均値。  
 3. 全根茎数：塊茎形成および未形成の根茎の総数、塊茎形成根茎数：根茎の先端に直径5mm以上の塊茎を形成したものの数。 4. 茎基部の太さ：根茎分化位置の付近。  
 5. nは調査した株数。 6. \*\*\*, \*\*, \* : 有意水準 0.1%, 1%, 5%で有意。  
 7. 調査は第1表の処理区の塊茎形成終期(10月30日)に実施。

第3表 塊茎を形成する根茎の形質と茎形質との間の偏相関係数

| 群   | 根茎の形質 | 茎長       | 茎基部の太さ   | n  |
|-----|-------|----------|----------|----|
| 奈良  | 根茎長   | 0.604*** | 0.327*   | 48 |
|     | 根茎の太さ | 0.086    | 0.317*   |    |
| 谷和原 | 根茎長   | 0.524*** | -0.036   | 52 |
|     | 根茎の太さ | 0.149    | 0.547*** |    |

注) 1. 除草剤処理および無処理区を含めた1991年試験の調査結果。  
 2. 茎長：塊茎を形成する根茎をもつ茎の長さ、茎基部の太さ：根茎分化位置の付近。  
 3. nは調査した塊茎形成根茎数。 4. \*\*\*, \* : 有意水準 0.1%, 5%で有意。  
 5. 調査は第1表の処理区の塊茎形成終期(10月30日)に実施。

### 3. 塊茎形成の動向

#### (1) 長さ別の根茎数と塊茎の肥大

第8図は、塊茎形成期別に見た長さ別の根茎数と塊茎肥大の関係を示したものである。無処理区における根茎は、塊茎形成始期(谷和原群 8月20日, 奈良群 9月2日)からポット底面まで達した。そして、塊茎形成盛期(9月19日)までに奈良群では第2層(5~10cm)と第4~6層(15~30cm)に、また谷和原群では第2~6層(5~30cm)に達する長さの根茎が新たに分布した。さらに塊茎形成終期(10月30日)までに、奈良群では第1~3層(0~15cm)および第5, 6層(20~30cm), 谷和原群では第1~4層(0~20cm)に達する長さの根茎が分布した。土中深度による塊茎の大きさの差異は、塊茎形成始期で小さく、時期が進むにつれ深度の深い塊茎ほど大型化するため、深度による差異は大きくなった。

除草剤処理区では、根茎数が減少すると共にポット底面に達する長大な根茎数が少なくなり、とくに地上部生育の抑制が強いNC剤区では最長の根茎長が著しく短くなった。しかし、DP, NC剤区ともに、各処理区における最長もしくはこれに近い長さの根茎が塊茎形成始期にすでに分布していた。その後、地上部生育の抑制が大きく塊茎形成始期が遅れるほど、総根茎数が減少するが、長さ10cm以下の根茎が他の層に比較して多数形成され、最多分布層が浅くなる傾向が見られた。そして、地上部生育の抑制が著しく大きい奈良群のNC剤区では、この傾向に加えて塊茎形成根茎数が著しく減少した。

塊茎形成時期が進むにつれ、除草剤処理区でも無処理区と同様に土中深度による塊茎直径の差異が大きくなったが、塊茎の肥大に要した期間は塊茎形成始期の遅れと共に短くなった。

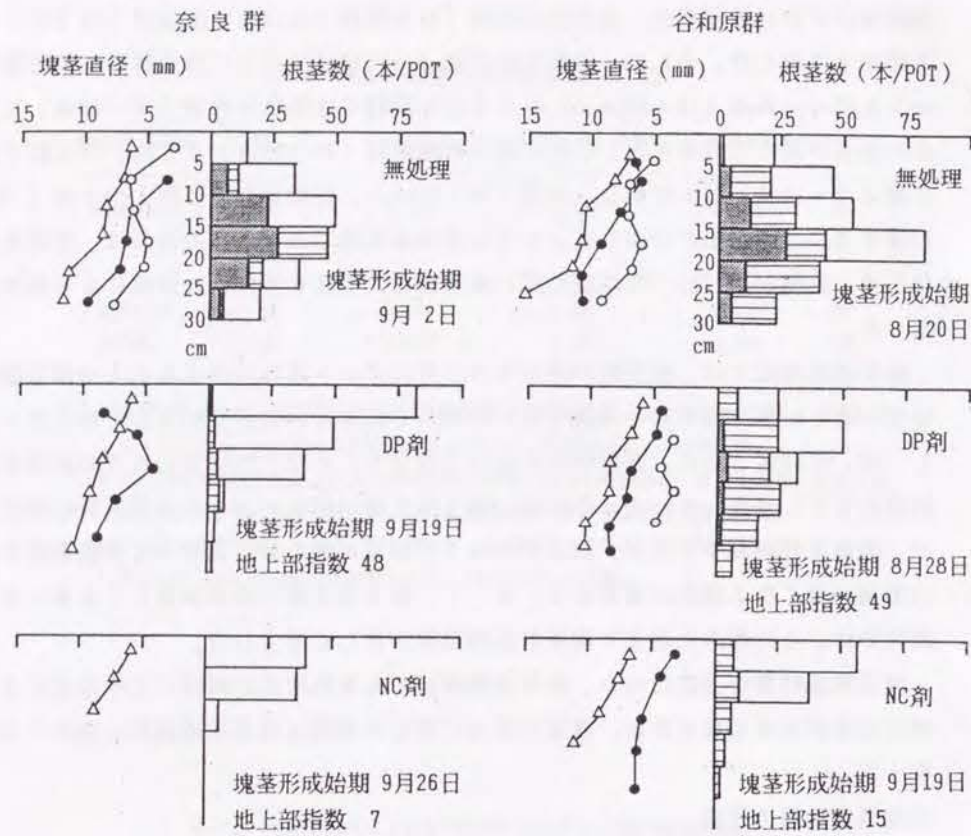
#### (2) 塊茎仮比重の推移

第9図は、塊茎形成時期別に見た塊茎の大きさと塊茎仮比重の関係を示したものである。同図のごとく、時期が進むにつれ同一直径の塊茎で見ると仮比重は大きくなったが、塊茎形成時期に拘わらず大型塊茎ほど仮比重が小さくなる傾向が見られた。そして塊茎形成終期における塊茎直径に対する塊茎仮比重の直線回帰の傾きの絶対値は、無処理区に比較して除草剤処理区で大きくなった。一方、DP剤区においては奈良群で傾きの絶対値が大きくなる群間差が認められたが、NC剤区においては両群の傾きの絶対値に大差はなく、群間差が認められなかった。

塊茎形成時期の進展に伴う同一の土中深度別に見た塊茎の仮比重の推移の一例を、第9図中に破線で示した。時期が進むにつれ、土中深度の浅い塊茎の仮比重は増加し、土中深度の深い塊茎は、無処理区を除いて時期が進むにつれ仮比重が低下する傾向が認められた。

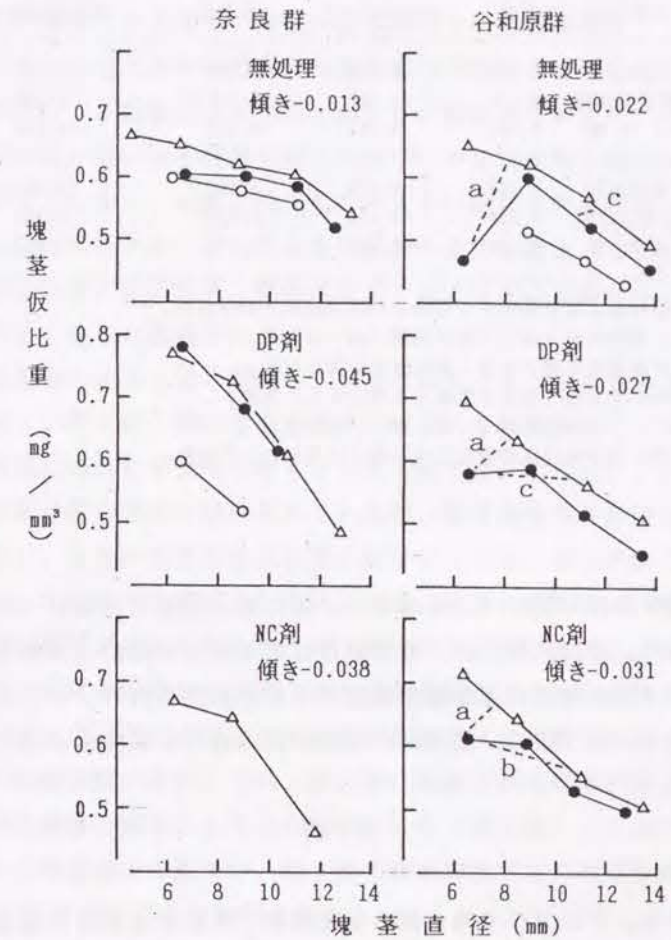
### 4. 塊茎の形質に影響を及ぼす茎および根茎の特性

塊茎の直径、塊茎生体重あるいは仮比重と、茎長、茎基部の太さ、根茎の長さおよび根茎基部の太さとの間の偏相関係数を求め、第4表に示した。奈良群では、塊茎直径および



第8図 塊茎形成時期別に見た長さ別の根茎数と塊茎肥大の関係 (1991年試験)

- 注) 1. 塊茎形成始期は、塊茎直径 5mm以上となった日。  
 2. 地上部指数は平均草丈×株数の対無処理区比。数値は 9月19日 (無処理区の塊茎形成盛期) に各処理区で調査。  
 3. 縦軸は地表から 5cm間隔で第1~6層の土中深度を表し、根茎の長さの指標を示す。  
 4. ○—○, ■—■ : 9月2日 (奈良群), 8月28日 (谷和原群) 調査。  
 ●—●, □—□ : 塊茎直径は 9月19日 (両群) 調査。根茎数は前回調査から 9月19日 (両群) 調査までに形成されたもの。  
 △—△, ▨—▨ : 塊茎直径は10月30日 (両群) 調査 (直径 5mm以上の塊茎のみ)。根茎数は前回調査から10月30日 (両群) 調査までに形成されたもの (直径 5mm以上の塊茎を形成する根茎のみ)。



第9図 塊茎形成時期別に見た塊茎直径と仮比重の関係 (1991年試験)

- 注) 1. 仮比重 = 塊茎生体重 (mg) / 塊茎直径 (mm) の3乗。  
 2. 傾きは、塊茎形成終期 (奈良群10月18日, 谷和原群10月2日) における塊茎直径に対する塊茎仮比重の直線回帰の傾きを示す。  
 3. 図中の破線 a は第2層 (5~10cm), 破線 b は第4層 (15~20cm) および破線 c は第5層 (20~25cm) における塊茎肥大にともなう仮比重の推移を示す。  
 4. 奈良群 : ○—○8月30日, ●—●9月17日, △—△10月18日調査。  
 谷和原群 : ○—○8月30日, ●—●9月17日, △—△10月18日調査。

第4表 塊茎形質と茎および根茎形質との間の偏相関係数

| 群   | 塊茎形質  | 茎長     | 茎基部の太さ | 根茎長      | 根茎基部の太さ | n  |
|-----|-------|--------|--------|----------|---------|----|
| 奈良  | 塊茎直径  | 0.090  | 0.030  | 0.555*** | -0.071  | 48 |
|     | 塊茎生体重 | 0.120  | -0.042 | 0.595*** | 0.005   |    |
|     | 仮比重   | 0.370* | -0.241 | -0.032   | 0.014   |    |
| 谷和原 | 塊茎直径  | 0.106  | -0.165 | 0.462**  | 0.097   | 51 |
|     | 塊茎生体重 | 0.184  | -0.144 | 0.334*   | 0.191   |    |
|     | 仮比重   | 0.208  | 0.161  | -0.274   | 0.093   |    |

- 注) 1. 除草剤処理および無処理区を含めた1991年試験の調査結果。  
 2. 仮比重 = 塊茎生重 (mg) / 塊茎直径 (mm) の3乗。  
 3. 茎および根茎の基部の太さ: 根茎分化位置の付近。  
 4. nは調査した茎数(塊茎を形成する根茎をもつ茎数)。  
 5. \*\*\*, \*\*, \* : 有意水準 0.1%, 1%, 5%で有意。  
 6. 調査は第1表の処理区の塊茎形成終期(10月30日)に実施。

塊茎生体重は、根茎長との間に 0.1%水準で、仮比重は茎長との間に 5%水準で有意な偏相関係数が認められた。谷和原群では、塊茎直径は根茎長との間に 1%水準で、塊茎生体重は根茎長との間に 5%水準で有意な偏相関係数がそれぞれ得られた。そして仮比重は、有意差は小さいが茎長との間に正の、根茎長との間に負の若干の相関係数が得られた。

## 考 察

本実験の結果から、クログワイ地上部の生育抑制下における根茎と塊茎形成との関係を明らかにした。同時にクログワイの地上部形質がクログワイの経年的増殖抑制の視点からどの程度の関連性を持つかを検討した。

まず、茎の出現順序と根茎形成との関係は、以下のようになると考えられた。前節の結果より、茎の出現順序は、葉序に見られる3輪生と同様と推察された。また全根茎および塊茎形成根茎をもつ茎の割合は、除草剤処理による地上部生育の抑制程度に応じてそれぞれ低下するが、茎の出現順序に強く支配され、株の中心の新しい茎<sup>25)</sup>で高く外側の古い茎で低い傾向を示した(第7図)。そして、この傾向は、両除草剤処理区でも同様で、地上部生育の抑制に左右されないかなり安定した特性と見られる(第7図)。従って根茎形成茎の割合を薬剤間、個体群間において比較する場合、全茎を対象とするのではなく輪生単位の調査が省力で効果的と考えられた。

次に、生産塊茎数は、除草剤処理による株数の減少(第1表)、および平均茎長の抑制による株当たり塊茎形成根茎数の減少(第2表)に左右されることは明らかである。根茎は、ある程度の太さを有する茎の基部から出現し、根茎の先端における塊茎の形成は、除草剤処理による茎長の抑制(第2表)、つまり同化物の不足により強く阻害されると推察される。そして除草剤処理による茎長の抑制が根茎の長さに影響を及ぼし(第3表)、総塊茎数の減少とあいまって地上部生育の抑制程度に応じた塊茎の土中分布(第8図)を決定すると考える。例えば、本試験における地上部生育の抑制程度が大きい場合に見られる塊茎の表層分布(第8図)は、発生時期の遅れた株<sup>21)</sup>や出現時期が遅れた茎に形成された短い根茎に起因する。しかし、水稲との光競合が大きい圃場条件下では、クログワイの平均草丈がさらに短縮されるため、これら根茎の株当たり発生本数は、本試験結果より少なく、根茎の長さは短くなる。その結果、圃場条件下では、塊茎の表層分布は本試験結果より浅く、塊茎数も少なくなると推測される。

塊茎の形質は根茎の長さとは強く関係し、茎基部の太さおよび根茎基部の太さとの関連性は低い(第4表)。例えば、長い茎の基部に形成される根茎は長く、その先端に形成される塊茎は形成時期に拘わらず大型で重くなった(第4表、第8図)。これは光合成を行う茎の表面積は茎長と茎の直径で決められているが、除草剤処理の影響は茎長に強く現われており(第1表)、茎長が根茎の長さに強く関与する(第3表)ためと推察される。この要因の検討については今後の課題としたい。一方、塊茎の仮比重は、地上部形質や根茎形質との間に明瞭な関係が認められなかった(第4表)。この原因としては、塊茎形成初期の遅延による肥大期間の短縮および地上部生育の抑制による同化産物の減少によって、除草剤処理区におけるクログワイ塊茎の仮比重が無処理区に比較して低下したためと考えられる。また塊茎形成時期が進むにつれ、深い層に形成される塊茎の仮比重が、地上部生育の抑制に伴う同化産物の減少によりさらに低下した(第9図)。このことは、長い根茎の先端に形成される塊茎直径の拡大が、地上部生育の抑制下でも塊茎生体重の増加に対して優先されること<sup>14)</sup>を裏付けると推察される。

一方、塊茎形成始期は、除草剤処理による地上部生育の抑制程度に応じて遅延した(第1表)。これは、根茎を形成できる長さ太さを有する茎の出現時期が、地上部生育の抑制により遅くなるためと考えられた。そして塊茎形成始期が遅延すると、同一土層内の塊茎間における形成時期の差が小さくなる。このことが、クログワイに有効な除草剤を処理した水田では次年度のクログワイの萌芽が斉一化<sup>12)</sup>する一因となると推察された。

## 摘 要

除草剤処理によりクログワイの地上部生育が抑制をうける場合について、それが根茎および塊茎の形成に及ぼす影響を明らかにした。

1. 根茎を形成する茎の割合は茎の出現順序に強く影響され、株の中心の茎で高く外側の茎で低かった。
2. 根茎における塊茎の形成は平均茎長の影響を受け、茎長は塊茎の土中深度を支配する根茎長と正の相関関係にあるとともに、根茎が長いほど塊茎直径および塊茎生体重が大きくなる傾向にあった。
3. 塊茎形成後は、塊茎の肥大とともに浅い層に形成される塊茎の仮比重は増加したが、深い土層に形成される塊茎の仮比重は一般に低く、とくに除草剤処理により大きく低下した。
4. 茎長と茎基部の太さの抑制は、塊茎形成始期を遅らせ、同化産物の減少も加わって塊茎の萌芽に影響する仮比重を低下させると推察された。

## 第2章 除草剤連用下におけるクログワイ 個体群の動態

### 第1節 除草剤による地上部の生育抑制の判定指標と塊茎の形成

クログワイの防除法の確立のためには、地上部の生育抑制と塊茎の動態との関係を量的・質的両面から長期にわたり追跡、解明することが重要と考えられる<sup>11,12)</sup>。クログワイに対する除草剤の作用性試験<sup>2,7-9,24-26,47,48,55-57)</sup>は数多くあるが、各々の除草剤との関係に重点を置いたものが大部分である。そのため試験結果が薬剤やその処理法に左右され、普遍性、共通性に乏しく応用場面が限られていた。つまり、前述の著者らの観点にたち、塊茎の動態を間接的な方法で的確に評価できる普遍的な除草効果の判定法の策定には至っていない。そして、地上部抑制下における塊茎の動態をクログワイ自然発生圃場の調査から検討した事例<sup>7,11,12)</sup>はきわめて少ない。

ここでは、クログワイ自然発生圃場で有効除草剤の3年連用と塊茎の掘り取り調査を実施し、地上部生育の抑制程度を総合的に示す指標を検討することとした。併せて、地上部の生育抑制と新塊茎の形成抑制および塊茎の充実度との関係、並びに旧塊茎に及ぼす影響を検討した。

#### 材料および方法

##### 1. 試験区の構成と耕種概要

試験区の構成と除草剤処理法を第5表に示したが、除草剤の3年連用試験は1987年から1989年の試験Ⅰと1988年から1990年の試験Ⅱの2試験に分け、クログワイが自然発生する奈良県農業試験場の16号水田で実施した。供試水田に発生するクログワイは、小林による分類<sup>34)</sup>と比較し水田群と判断した。すなわち、草丈は水稲と同程度となり、比較的小型の塊茎を9月上旬から水稲が収穫される10月上旬まで多数形成した。

試験Ⅰ、Ⅱはクログワイ対象としてそれぞれ3ないし4の体系処理法からなり、これらの処理を3年間継続し、処理区は2m×1.5mの2区制とした。無処理区は3年間クログワイの自然発生状態を保ったが、他雑草との競合を除くためピラゾレート剤を処理し、1.2m×1.5mの規模で1体系処理法当り2ないし3区設定した。

土層中の塊茎形成位置の攪乱<sup>52)</sup>を防ぐため、水稲の移植前の耕起は表層5cm程度とした。水稲品種「ホウレイ」を6月15日に移植し、中干しは実施せず、秋の落水は9月20日頃行い、収穫は10月5日とした。窒素成分で、基肥5kg/10a、穂肥2.5kg/10a2回施用した。

第5表 調査圃場の除草剤処理法

| 試験区分                   | 試験区                    | 処理方法   |
|------------------------|------------------------|--|
| 試験Ⅰ<br>(1987<br>~1989) | (1)体系処理区               | ① MTS-1粒剤 → BAS-3510(Na)㊦液剤の体系処理   |
|                        | 右記の各体系処理を<br>それぞれ3年間継続 | ② DPX-84㊦及び同成分含有粒剤の体系又はDPX-84㊦粒剤 → ベンタゾン剤の体系処理<br>③ NC-311粒剤の1回又は2回体系、又はNC-311粒剤 → ベンタゾン剤の体系処理   |
|                        | (2)無処理区                | 1年生雑草対象剤(ピラゾレート粒剤)のみ処理、水稲内クログワイ自然発生放置  |
| 試験Ⅱ<br>(1988<br>~1990) | (1)体系処理区               | ① DPX-84B㊦粒剤 → ベンタゾン剤を主とした体系処理   |
|                        | 右記の各体系処理を<br>それぞれ3年間継続 | ② DPX-84CG㊦粒剤単用又はDPX-84CG㊦粒剤 → ベンタゾン剤を主とした体系処理<br>③ DPX-84SC㊦粒剤単用又はDPX-84SC㊦粒剤 → ベンタゾン剤を主とした体系処理<br>④ NC-311B㊦粒剤単用又はNC-311B㊦粒剤 → ベンタゾン剤を主とした体系処理 |
|                        | (2)無処理区                | 試験Ⅰに準ずる  |

注) 1. 処理区によっては、1年生雑草に有効な初期剤を適宜処理した。

2. MTS-1: CNP9%+イムン7%, BAS-3510(Na)㊦: ベンタゾンNa塩40%, DPX-84㊦: ベンタゾン70%+ピラゾレート10%, ベンタゾン剤: ベンタゾン単剤又は混合剤  
NC-311: ピラゾレート70%+ピラゾレート10%, DPX-84B㊦: ベンタゾン70%+ピラゾレート10%,  
DPX-84CG㊦: ベンタゾン70%+ピラゾレート10%, DPX-84SC㊦: ベンタゾン70%+ピラゾレート10%,  
NC-311B㊦: ピラゾレート70%+ピラゾレート10%

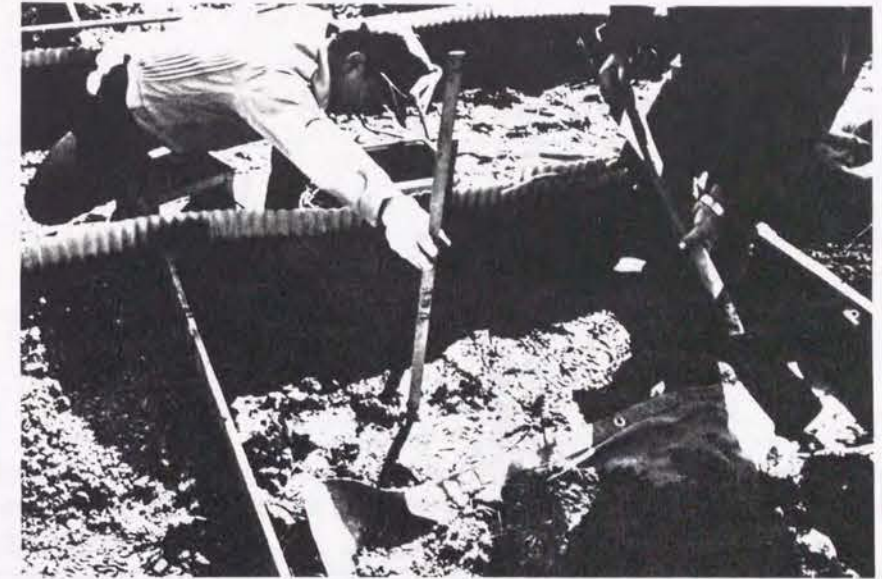
## 2. 調査方法

地上部の調査は各々の体系処理区のクログワイ全株数と最長株10株の草丈を除草剤連用3年間とも9月20日前後に測定した。1989年は試験Ⅰの各試験区0.25㎡について、塊茎形成始期(9月2日)、盛期(9月19日)および終期(10月11日)に地上部を抜き取り、株数、茎数、草丈および地上部風乾重を測定した。

塊茎の掘り取り調査(第10, 11図)は、除草剤連用2, 3年目の10月10日前後に処理区0.7㎡(1988年は1㎡)、無処理区0.25㎡について実施した。掘り取りの深さは、地表面から深さ5cm毎に25cmまでとし、地表面から順次第1層、第2層、第3層、第4層および第5層とした(第12図)。層別に区分した土壌中から塊茎を回収し、塊茎の色から新旧を区分し、塊茎数、塊茎赤道面の直径および塊茎生体重を測定した。

地上部の抑制程度を判定する指標として以下のような方法を用い、地上部指数と呼称することとした。

$$\text{地上部指数} = \frac{\text{処理区の㎡当り株数} \times \text{平均草丈}}{\text{無処理区の㎡当り株数} \times \text{平均草丈}} \times 100 \quad \text{式1}$$



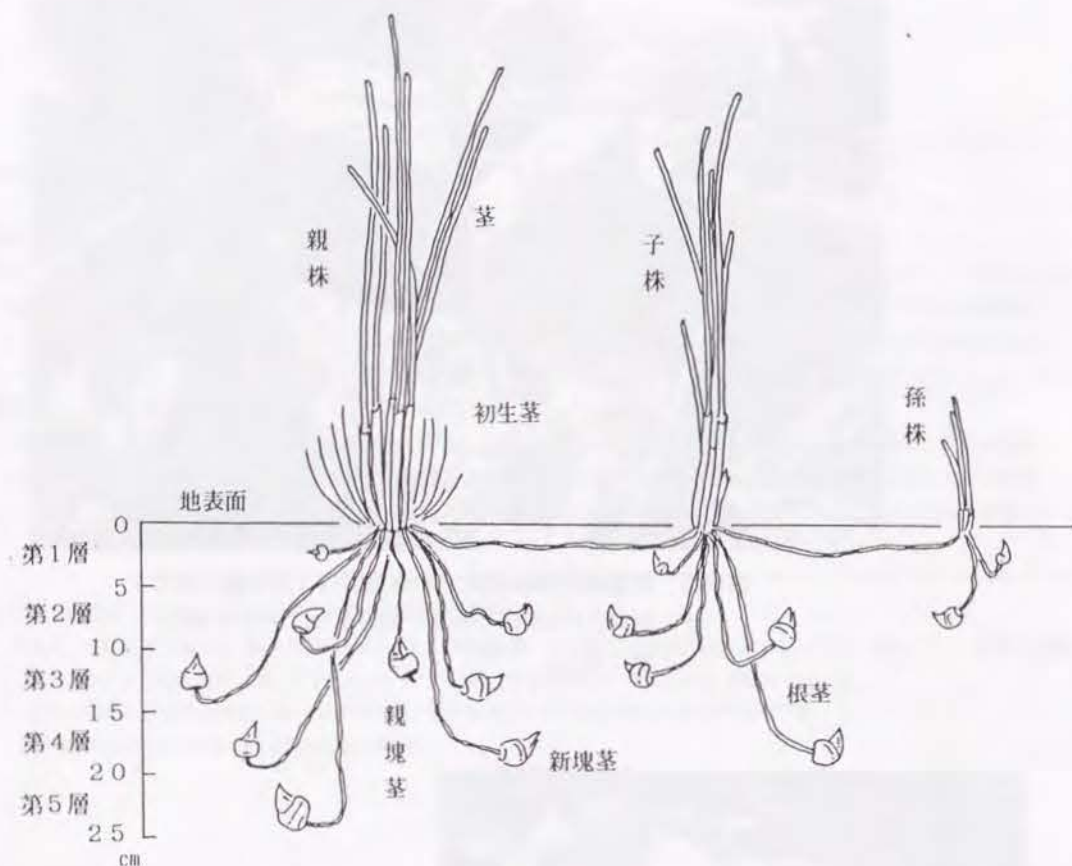
第10図 除草剤連用試験区での塊茎調査(層別掘り取り)

注) 処理区0.7㎡について、深さ5cmごとの土層を掘り取る。



第11図 塊茎調査の方法

注) 土中から塊茎を探す。



第12図 クログワイの増殖様式と掘り取り調査の層位

## 結果

### 1. クログワイの発生量の推移

無処理区におけるクログワイ塊茎形成期の草丈は80~95cmで3年とも大差はなかったが、株数は2年目に急増し、年次を経るほど増加した。新塊茎数は試験Ⅰの3年目でやや減少したが、試験Ⅱでは35%ほど増加した。旧塊茎数は両試験とも3年目で著しく多くなった。処理区における草丈は試験Ⅰで年次を経るほど低くなったが、試験Ⅱでは3年目でわずかに低下したのみであった。また株数は、両試験とも2年目で減少し3年目は前年とほぼ同数であった。新塊茎数は両試験とも3年目で著しく減少し、旧塊茎はわずかに減少した(第6表)。

本試験に用いた圃場は、クログワイの発生が極めて多い圃場であったが、各試験区とも発生はほぼ均一で試験の遂行上に支障はないと判断された。

第6表 クログワイ塊茎形成期の草丈、株数および塊茎数の推移

| 試験区分 |     | 草丈cm |      |      | 株数/m <sup>2</sup> |       |       | 新塊茎数 個/m <sup>2</sup> |     | 旧塊茎数 個/m <sup>2</sup> |     |
|------|-----|------|------|------|-------------------|-------|-------|-----------------------|-----|-----------------------|-----|
|      |     | 1年目  | 2年目  | 3年目  | 1年目               | 2年目   | 3年目   | 2年目                   | 3年目 | 2年目                   | 3年目 |
| 試験Ⅰ  | 無処理 | 84.7 | 83.3 | 93.1 | 35.9              | 219.8 | 236.9 | 594                   | 528 | 12                    | 42  |
|      | 処理  | 55.9 | 34.7 | 32.4 | 7.5               | 5.4   | 4.1   | 20                    | 11  | 6                     | 5   |
| 試験Ⅱ  | 無処理 | 82.4 | 96.4 | 96.2 | 60.3              | 232.1 | 427.1 | 703                   | 960 | 30                    | 64  |
|      | 処理  | 64.9 | 64.6 | 61.8 | 30.3              | 24.6  | 24.2  | 147                   | 87  | 20                    | 18  |

注) 1. 地上部調査は9月20日前後、塊茎調査は10月10日前後に実施。 2. 試験Ⅰは1987, 88, 89年、同Ⅱは1988, 89, 90年の結果。  
3. 処理は全処理区を平均した。 4. 新塊茎数は当年に形成された塊茎数、旧塊茎数は前年に形成された塊茎と前々年までに形成され萌芽能力のある塊茎の総数。

第7表 新塊茎数と塊茎形成時期別の各地上部形質との相関係数 (1989年)

| 塊茎形成時期 | m <sup>2</sup> 当り株数 | m <sup>2</sup> 当り茎数 | 草丈     | 地上部指数  | m <sup>2</sup> 当り地上部乾物重 |
|--------|---------------------|---------------------|--------|--------|-------------------------|
| 始期     | 0.308               | 0.125               | 0.625* | 0.527  | 0.498                   |
| 盛期     | 0.380               | -0.006              | 0.376  | 0.620* | 0.405                   |
| 終期     | 0.287               | -0.217              | 0.429  | 0.720* | 0.359                   |

注) 1. 地上部形質は塊茎形成始期 9月2日、同盛期 9月19日、同終期10月11日の各々調査。新塊茎数は10月11日に調査。 2. 地上部指数はm<sup>2</sup>当り株数×平均草丈の対無処理区比。 3. \*; 有意水準 5%で有意。

### 2. クログワイの地上部抑制程度判定法

除草剤の種類やその処理法によるクログワイの地上部生育の抑制程度を総合化、一般化して示す判定法を策定するため、第7表に示す5要因を塊茎形成時期別に測定し、最終的に生産された新塊茎数との相関関係からそれらの有効性を検討した。

塊茎形成盛期および後期において、地上部指数と新塊茎数との間には有意な相関が認められた。一方、他の4要因では塊茎形成始期において草丈と新塊茎数との間に有意な相関が認められたにすぎなかった。このことから、地上部生育の抑制程度判定指標として他の4要因を単独で使用するのとは適切ではなく、塊茎形成盛期以降に測定されたm<sup>2</sup>当り株数および草丈を総合した{(処理区のm<sup>2</sup>当り株数×平均草丈)/(無処理区のm<sup>2</sup>当り株数×平均草丈)}×100の式で示される地上部指数(仮称)が有効であると言える。従って以後、薬剤や処理法によるクログワイ地上部生育の抑制程度判定法として、塊茎形成盛期以降に測定された地上部指数(以下、塊茎形成期の地上部指数または地上部指数と略)を使用することとした。

第8表 除草剤連用処理区における新塊茎数(y)の地上部指数(x)に対する直線回帰 (1988-1990年)

| 区分  | 回帰式 | 相関係数           | 回帰式の比較(共分散分析 F値) |          |
|-----|-----|----------------|------------------|----------|
|     |     |                | 傾き               | 高さ       |
| 試験Ⅰ | 2年目 | $y=5.82X+14.2$ | $r=0.993^{***}$  | 0.560    |
|     | 3年目 | $y=6.80X+80.1$ | $r=0.942^{***}$  |          |
| 試験Ⅱ | 2年目 | $y=5.49X+15.2$ | $r=0.952^{***}$  | 1.871    |
|     | 3年目 | $y=7.94X+39.5$ | $r=0.915^{***}$  |          |
| 全体  | 試験Ⅰ | $y=5.63X+14.3$ | $r=0.971^{***}$  | 12.42 ** |
|     | 試験Ⅱ | $y=7.39X+58.2$ | $r=0.923^{***}$  |          |

注) 1. 試験Ⅰと試験Ⅱの回帰式は処理2年間を込みにして求め、両回帰式の傾きが異なるため高さの比較は実施せず。 2. \*\*, \*\*\* ; 有意水準 1%, 0.1% で有意。

### 3. クログワイの地上部の生育抑制と新塊茎の動態との関係

#### (1) 新塊茎の形成抑制

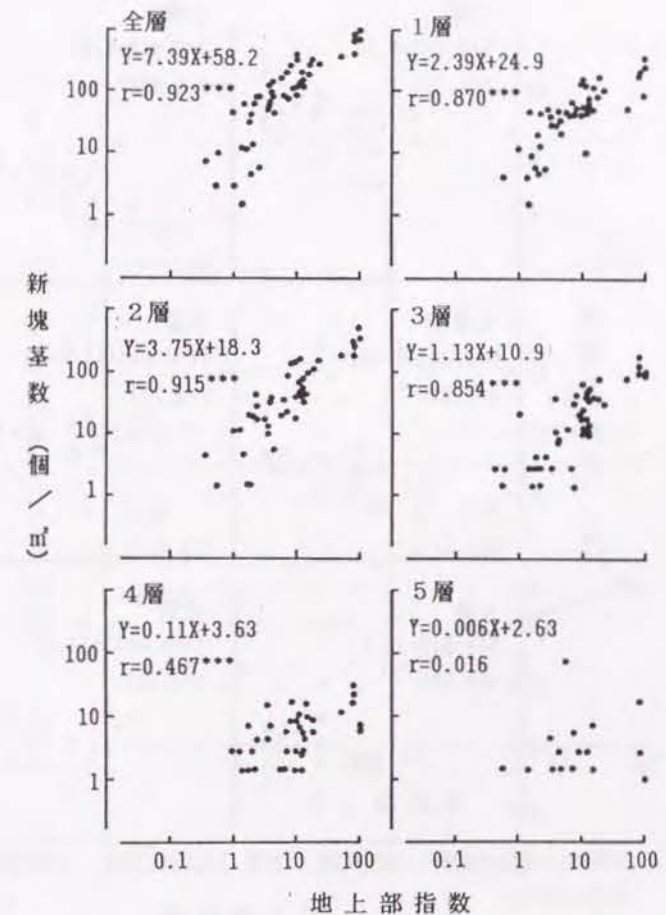
試験Ⅱにおける塊茎形成期の地上部指数と新塊茎数との間には有意な直線関係が認められ(第13図), 塊茎形成期の地上部の生育抑制が新塊茎の形成に強く影響していた。第8表に示したように試験Ⅰ, Ⅱとも除草剤の連用処理における年次間において回帰直線の傾きおよび高さに有意な差がなく, 両回帰直線は同一と見なせた。しかし, 試験Ⅰと試験Ⅱの間においては回帰直線の傾きが異なり, 両回帰直線を同一と見なせなかった(第8表)。

#### (2) 土層深度別の新塊茎数の形成抑制

試験Ⅱにおける塊茎形成期の地上部の生育抑制による新塊茎の形成抑制を形成深度別に示したものが第13図である。第1層から第4層にかけて両者の間に 0.1%水準で有意な直線関係が認められたが, 第5層では有意な関係が認められなかった。そして, 地上部指数に対する新塊茎数の回帰の傾き, つまり地上部指数で見た新塊茎形成数の減少率は形成深度で異なった。第2層が大きく, 次いで第1層, 第3層の順に小さくなり, 第4層では非常に小さくなった。また, 地上部生育の抑制が顕著(地上部指数 1%前後)になると形成深度間の新塊茎数の差がほとんどなくなった。

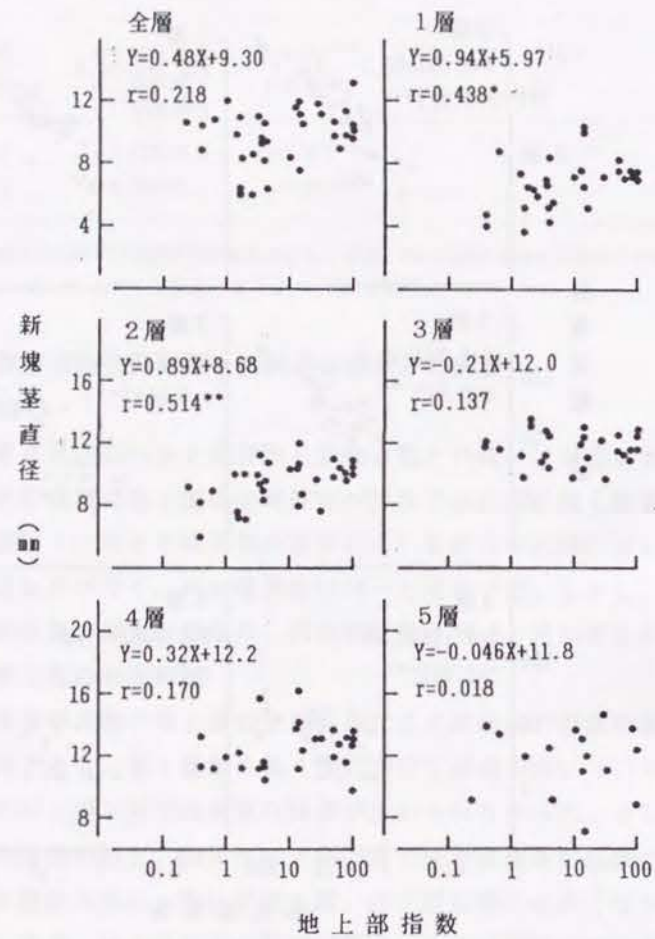
#### (3) 土層深度別の新塊茎の大きさおよび重量

塊茎形成期の地上部の生育抑制により新塊茎の小型化が予想されたため<sup>11, 12, 20</sup>, 塊茎形成期の地上部指数と新塊茎の平均直径との関係を形成深度別に整理した(第14図)。地上部の生育抑制が弱い場合および第3層より深い層では地上部の生育抑制による塊茎の明瞭な小型化は認められないが, 第1, 2層では両者の間に有意な1次の相関関係が認められた。なお, 地上部の生育抑制による新塊茎直径の小型化傾向は, 第1層が第2層に比較してわずかに強かった。



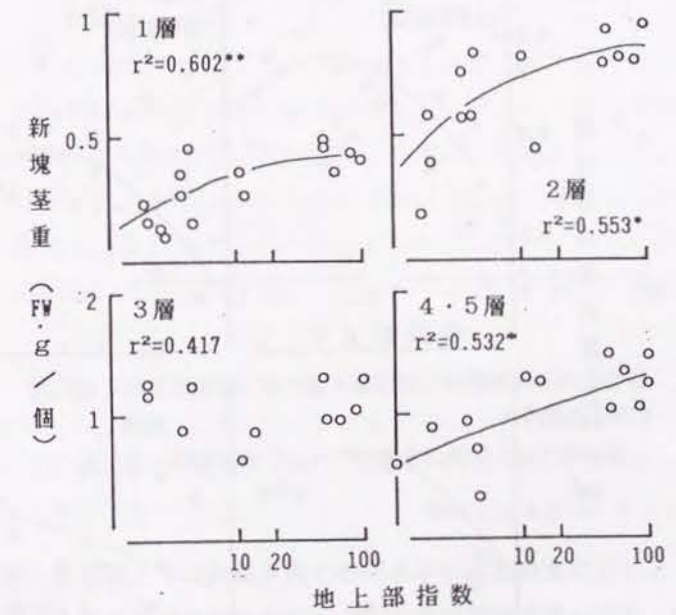
第13図 形成深度別に見た地上部指数と新塊茎数の関係(1989-1990)

注) 1. 地上部指数はm<sup>2</sup>当り株数×平均草丈の対無処理区比。以下, 第14~17図もこれに準ずる。  
2. 層位は地表より 5cm間隔。以下, 第14~17図もこれに準ずる。  
3. \*\*\* : 有意水準0.1%。



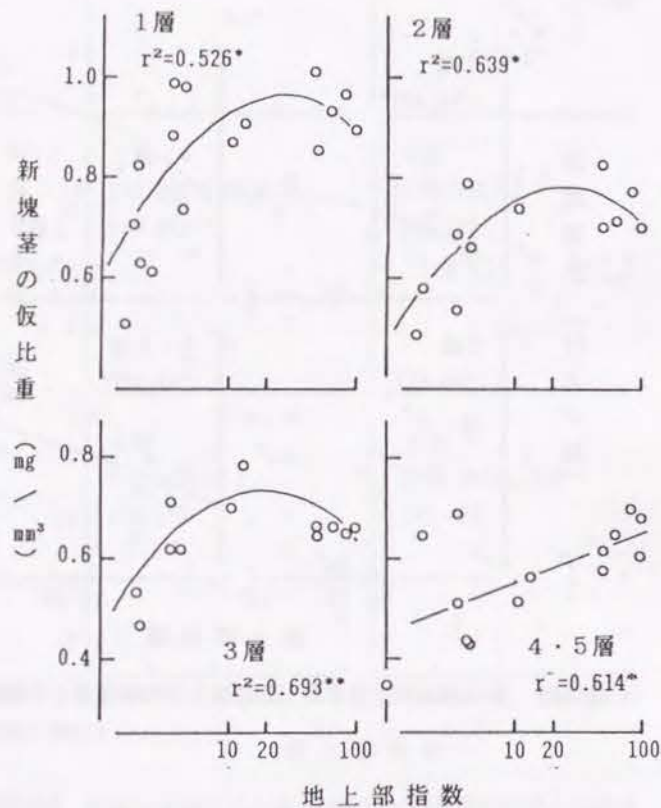
第14図 形成深度別に見た地上部指数と新塊茎の直径との関係 (1988-1990)

注) \*, \*\*: 有意水準 5%, 1%。以下, 第15~17 図もこれに準ずる。

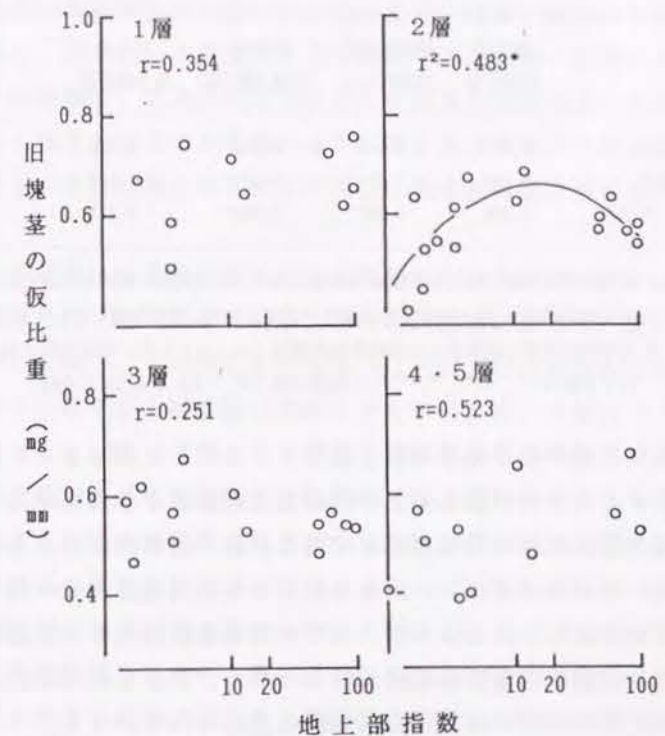


第15図 形成深度別に見た地上部指数と平均新塊重との関係 (1988-1990)





第16図 形成深度別に見た地上部指数と新塊茎の仮比重との関係 (1989-1990)  
 注) 仮比重=新塊茎重(mg)/新塊茎の直径(mm)の3乗。



第17図 形成深度別に見た地上部指数と旧塊茎の仮比重との関係 (1989-1990)  
 注) 仮比重=新塊茎重(mg)/旧塊茎の直径(mm)の3乗。

塊茎形成期の地上部指数と平均新塊茎重との関係を形成深度別に示したものが第15図である。第3層を除く各層で両者の間に有意な2次の相関関係が認められ、地上部生育の抑制程度に応じて新塊茎が軽量化し、特に地上部指数10%程度を境に軽量化が顕著であった。

#### (4)新塊茎の仮比重

塊茎形成期の地上部指数と新塊茎の充実度を示すと考えられる仮比重との関係を形成深度別に第16図に示した。仮比重と地上部指数との間には、第1層から第3層まで有意な2次の相関関係が、第4、5層では有意な一次の相関関係がそれぞれ認められた。そして、第1層から第3層までは地上部指数10%以下で仮比重が急減する傾向がみられた。

#### 4. クログワイの地上部の生育抑制と旧塊茎の動態との関係

##### (1)旧塊茎数に影響を及ぼす特性

塊茎形成期の地上部の生育抑制と旧塊茎数との関係を検討するため、当年の新塊茎数、前年に形成された塊茎数、前々年までに形成され前年において萌芽能力を有する前年の旧

第9表 当年の旧塊茎数と各項目間の偏相関係数 (1987-1990年)

|        | 当年の新塊茎数 | 前年形成の塊茎数(A) | 前年の旧塊茎数(B) | 当年の地上部指数 | 前年の地上部指数 |
|--------|---------|-------------|------------|----------|----------|
| 試験Ⅰ    | 0.073   | 0.442       | 0.951***   | -0.136   | -0.243   |
| 試験Ⅱ    | 0.184   | 0.404*      | 0.452*     | -0.028   | -0.178   |
| Ⅰ, Ⅱ込み | 0.108   | 0.356*      | 0.433**    | -0.011   | -0.188   |

注) 1. 前年形成の塊茎; 前年に形成された塊茎の内, 前年秋期において萌芽力を有する塊茎。  
 2. 前年の旧塊茎; 前々年までに形成された塊茎の内, 前年秋期において萌芽力を有する塊茎。  
 3. 当年の旧塊茎; 前年までに形成された塊茎(A+B)の内, 当年秋期において萌芽力を有する塊茎。 4. \*, \*\*, \*\*\*: 有意水準 5%, 1%, 0.1%で有意。

塊茎数および当年と前年の地上部指数を選定し, これらと前年までに形成され当年において萌芽能力を有する当年の旧塊茎数との間の偏相関係数を求め第9表に示した。試験Ⅰでは, 当年の旧塊茎数は前年の旧塊茎数との間に有意な偏相関が認められ, 前年に形成された塊茎数との間には有意差は小さいがある程度の偏相関係数の値が得られた。そして, 試験Ⅱおよび両者を込みにした全体では, 当年の旧塊茎数は前年に形成された塊茎数並びに前年の旧塊茎数との間に有意な偏相関が認められた。しかし, 当年の旧塊茎数と前年および当年の地上部指数との間には有意な偏相関は認められなかった。

#### (2) 旧塊茎の仮比重

1989年, 1990年それぞれの年における塊茎形成期の地上部指数と旧塊茎の仮比重との関係を形成深度別に第17図に示した。旧塊茎の仮比重は新塊茎のそれより低く, 地上部の生育抑制による仮比重の低下が新塊茎の場合より緩やかで, 形成深度によってはあまり影響を受けない場合も見られた。

### 考 察

クログワイの主な繁殖源である塊茎の形成障害には塊茎形成期における地上部の切除<sup>5a)</sup>や枯殺<sup>42)</sup>が有効で, 除草剤の効果判定も塊茎形成期に行うべきである。除草効果の判定には, 達観調査による枯死程度<sup>42, 50, 57)</sup>, 残草乾物重<sup>20)</sup>, 株数<sup>61)</sup>および草高<sup>36)</sup>等が使用されてきた。本報告では塊茎形成期におけるクログワイの株数と平均草丈の積の対無処理区比を地上部指数と呼称し, 地上部生育の抑制程度の判定指標として使用することとした。つまり処理区で塊茎形成が遅延<sup>12)</sup>するため無処理区の塊茎形成盛期以降に測定された地上部指数が有効になると判断された。塊茎形成盛期以降に測定された地上部指数は, 塊茎の動態の重要な要素である新塊茎数の地上部抑制下における有効な評価法として利用できることが明らかになった(第7表)。地上部指数が塊茎の動態を間接的に表す有

効な指標となる主な原因は, 第1章の結果より以下のように考えられた。まず, 根茎における塊茎の形成は平均茎長の影響を強く受けた。また茎長は, 塊茎の土中深度を支配する根茎長と強く関係し, 根茎長は塊茎直径および塊茎生体重に強く影響していた。さらに茎長と茎基部の太さの抑制は, 塊茎形成始期を遅らせ塊茎の萌芽の斉一化に関与し, 同化産物の減少も加わって塊茎の萌芽率に影響する仮比重を低下させるためと推察された。そして薬剤がクログワイの株数増加と草丈伸長の両者に相加的抑制効果を及ぼすためと判断された。

次に, 新塊茎の形成数は塊茎形成期の地上部指数に応じて抑制された。この関係は連年施用における処理年次間で差異がなく, 地上部の生育抑制に応じて一定の傾向で新塊茎数が減少した。しかし試験Ⅰ, Ⅱの間におけるように, 差異が認められる場合もあった(第8表)。第6表から求めた地上部指数は試験Ⅰで1年目24%, 2年目1.4%, 3年目0.6%, 試験Ⅱで同40%, 7.1%, 3.6%と年々減少し, 除草剤の連年施用による新塊茎形成数の経年的減少は地上部指数が年々減少する結果の反映と見られた。

第13図で論じたように地上部指数で見た新塊茎数の形成抑制率は形成深度で異なった。これは根茎長にクローン間変異<sup>31, 32)</sup>が見られるように, 塊茎を形成した根茎の長さや数が地上部の生育抑制により変化するためと推察された。つまり地上部の生育抑制により塊茎を形成する総根茎数は減少するが, 深い層に分布できる塊茎を形成する根茎の数はあまり減少しないためと考えられた。また地上部指数の減少にともない第3層より深い層に形成される塊茎は小型化しないこと(第14図)から, また前章の第8図からも, 深い層に伸長し大型塊茎を形成する根茎の分化・伸長およびその塊茎直径の増大が, 水稲無栽植区の場合<sup>34)</sup>と同様に浅い層に対して優先されることが示唆されている。

塊茎の大きさとの関係を第14図以下に述べたが, 地上部指数の減少にともない新塊茎の仮比重が急激に低下する変曲点が第1~3層の地上部指数10%付近に存在すること, 第4, 5層では仮比重が直線的に低下することが第16図から明らかになった。

第1~3層の弱い地上部の生育抑制による仮比重の増大は塊茎数の減少によるものと見られ, 無処理における仮比重の低下は多数形成された塊茎による養分競合のためと判断された(第13, 16図)。また第16図に示されたように, 第1~3層における地上部指数10%付近からの仮比重の急激な低下は地上部生育の著しい抑制のため炭酸同化産物の供給が一段と不足し, 塊茎の充実に影響したものと思われる。さらに第4・5層では塊茎重が緩やかに低下していることから, 同化産物の分配は深い層に形成される塊茎に優先して行われることが考えられた。

旧塊茎は前年の新旧塊茎のうちから構成され, 当年秋期に生存している旧塊茎の内, 当年春期において萌芽・再萌芽したものは除草剤処理の影響を受け当年の地上部の生育抑制と関係があると考えられた。しかし, 当年秋期における旧塊茎数は当年の地上部指数と関係が認められず(第9表), 生存する旧塊茎がすべて未萌芽塊茎とは考えられないことか

ら地上部の生育抑制の影響は既萌芽旧塊茎の他の形質に現われると推察される。つまり、塊茎の充実度を示すと考えられる仮比重は各形成深度とも新塊茎に比較して旧塊茎で低く(第16, 17図), 既萌芽旧塊茎では維持呼吸に加え地上部の生育抑制による養分消耗が仮比重をさらに低下させる一因と考えられた。

### 摘 要

クログワイに有効な除草剤を3年連用し、地上部の生育抑制と新塊茎の形成抑制との関係並びに旧塊茎に及ぼす影響を検討した。その結果、次のようなことが明らかになった。

1. クログワイ地上部生育の抑制程度の判定法として、株数と平均草丈の積の対無処理区比(地上部指数)が有効であった。
2. 地上部指数が小さいほど、すなわち地上部生育の抑制程度が大きいほど新塊茎の形成数は減少し、その傾向は除草剤連用の年数にかかわらず一定であった。
3. 新塊茎数の形成抑制率は形成深度で異なり、第2層(5~10cm)が大きく、次いで第1層(地表~5cm)となり、第3層(10~15cm)からは深くなるほど抑制率は小さくなった。
4. 地上部の生育抑制により、表層に形成される新塊茎は小型化し、各層に形成される塊茎の重量と仮比重の低下が認められた。
5. 旧塊茎は前年の新旧塊茎のうちから構成されるが、当年の地上部指数は当年秋期に存在する既萌芽旧塊茎の仮比重の低下に関与すると考えられた。

## 第2節 塊茎の萌芽および生存

クログワイ防除法の確立において、塊茎の休眠、萌芽および生存状態などの塊茎の動態について不明な部分が多く、著者らによる塊茎形成期の地上部生育の抑制程度と塊茎形成抑制との関係解明<sup>11, 12)</sup>, 塊茎萌芽率の変化<sup>5, 12, 19, 21)</sup> および塊茎の寿命<sup>6, 1)</sup> 等が報告されているに過ぎない。

そこで本節では、クログワイの地上部生育の抑制と新旧塊茎の萌芽率および次年度への生存率との関係を解明し、除草剤の連年施用による防除効果の向上を新旧塊茎数の推移から検討した。

### 材料および方法

除草剤の3年連用試験の方法は前節のとおりで、1987年から1989年の試験Ⅰと1988年から1990年の試験Ⅱの2試験に分けて実施した。

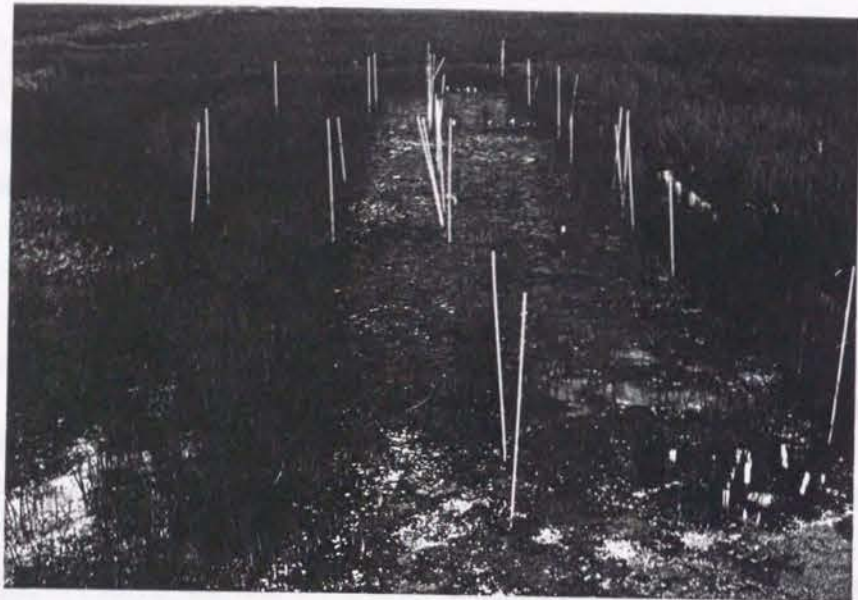
地上部の調査は、試験区のクログワイ全株数と最長株10株の草丈を9月20日前後に測定した。塊茎の掘り取りは除草剤連用2, 3年目の10月10日前後に処理区0.7㎡(1988年は1㎡), 無処理区0.25㎡について、深さ5cm毎に25cmの土層まで実施した。塊茎は、その表面の色によって光沢のない暗黒色の塊茎を旧塊茎、白~黒赤色を新塊茎と区分した。

圃場における塊茎からの出芽調査は、試験Ⅰにおける除草剤2年連用および3年連用後の翌年、すなわち1989年と1990年の水稲移植後37日まで肉眼観察により、出芽株数を3日間隔で計測した(第18図)。なお、出芽株数調査区は無処理とし、塊茎からの出芽株か子株もしくは孫株かの区別は初生茎の有無により判断した(第19図)。

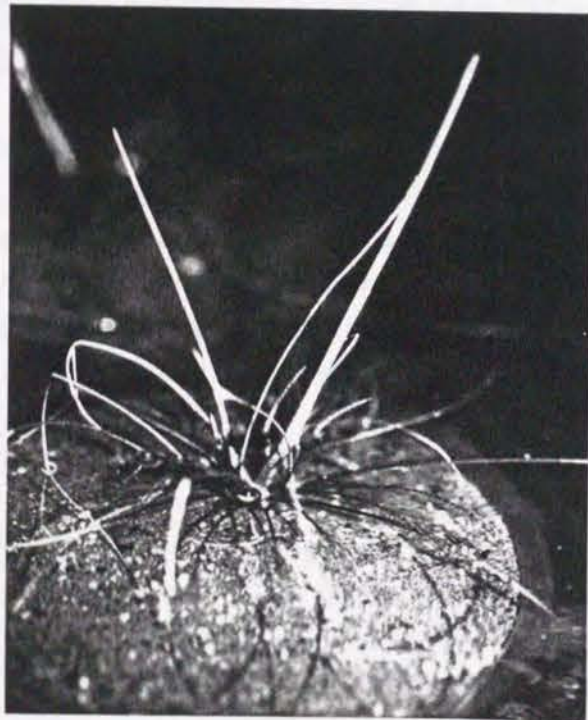
塊茎の萌芽能力を検討するため、試験Ⅰ(1987-1989)における除草剤連用2年処理区および3年処理区より掘り取った塊茎の中から損傷のない健全な塊茎を選び出し、約7℃の湿潤条件下に50日間貯蔵したものを供試した。塊茎は、容積430mlの透明プラスチック製カップ<sup>24)</sup>に3球ずつ埋め込み、ガラス室内の水温20~25℃の水中に置床した。置床後140日間目の萌芽数を新・旧塊茎別、除草剤の処理法別および形成深度別に区分して計測した。また最終調査時に根洗いを行い、未萌芽で生存している塊茎を計数した。なお、塊茎の包皮の除去<sup>5b)</sup>は実施しなかった。

地上部生育の抑制の指標として用いる地上部指数は、前節のとおり処理区の㎡当りクログワイ株数と平均草丈との積の対無処理区比とした(式1)。

$$\text{地上部指数} = \frac{(\text{処理区の㎡当り株数} \times \text{平均草丈})}{(\text{無処理区の㎡当り株数} \times \text{平均草丈})} \times 100 \quad \text{式1}$$



無処理区                      除草剤処理区  
 第18図 3年連用試験の翌年におけるクログワイの出芽  
 (1990年7月)



第19図 塊茎からの出芽  
 注) 太い茎の周囲が初生茎。

除草剤連用2年目に形成された塊茎が次年度(連用3年目)の秋期に生存している比率を新塊茎の生存率(a)と定義し、除草剤連用2年目の秋期に生存していた旧塊茎が連用3年目の秋期に生存している比率を旧塊茎の生存率(b)と定義した。そして、両生存率(aおよびb)を除草剤連用3年目における旧塊茎数の連用2年目における新旧塊茎数に対する重回帰式の偏回帰係数とした(式2)。

除草剤連用3年目の旧塊茎数

$$= a \times 2 \text{年目の新塊茎数} + b \times 2 \text{年目の旧塊茎数} + c \quad c: \text{定数} \quad \text{式2}$$

## 結果

### 1. 塊茎の萌芽率

#### (1) 新旧塊茎の萌芽率

形成深度別に見た萌芽試験結果を第10表に示した。供試した総新塊茎に対する萌芽した新塊茎数の比率は、第1層40.2%、第2層64.8%、第3層69.1%、そして第4・5層では71.3%と深くなるほど高くなり、全層では62.9%であった。旧塊茎の場合は、第1～3層が46.7%から57.9%の範囲で、第4・5層で36.5%と低く、全層では42.1%であった。供試した総新塊茎に対する未萌芽で生存していた新塊茎数の割合は、第1～3層が4.6%から4.9%の範囲で、第4・5層で2.9%と低く、全層では4.3%であった。旧塊茎の場合は、第1層で未萌芽での生存が認められず、他の土層では5.3%から9.4%の範囲となり、全層では7.9%であった。

第10表 形成深度別に見た新・旧塊茎の萌芽率 (1988-1989年の平均)

| 区分  |        | 全層    | 1層    | 2層    | 3層    | 4・5層  |
|-----|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 新塊茎 | 萌芽率    | 62.9% | 40.2% | 64.8% | 69.1% | 71.3% |
|     | 未萌芽生存率 | 4.3   | 4.8   | 4.6   | 4.9   | 2.9   |
| 旧塊茎 | 萌芽率    | 42.1  | 57.1  | 46.7  | 57.9  | 36.5  |
|     | 未萌芽生存率 | 7.9   | 0     | 6.7   | 5.3   | 9.4   |

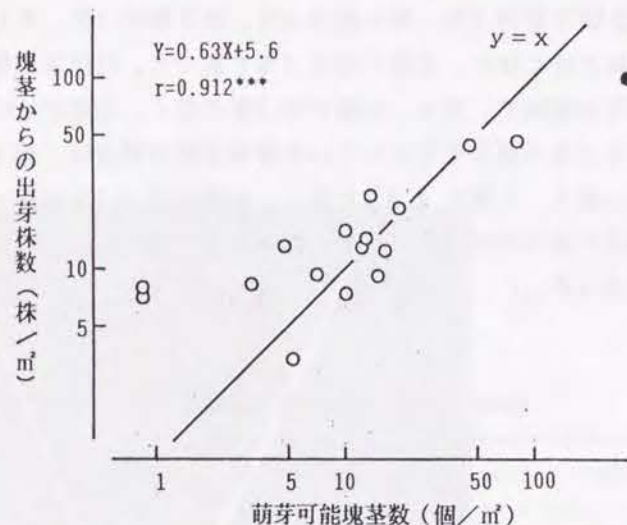
- 注) 1. 萌芽率は供試した総新塊茎又は総旧塊茎に対する萌芽した塊茎数の比率。  
 2. 未萌芽生存率は供試した総新塊茎又は総旧塊茎に対する未萌芽で生存していた塊茎数の比率。  
 3. 新塊茎は調査年に形成された塊茎、旧塊茎は調査の前年以前に形成され生存していた塊茎の総数。  
 4. 萌芽試験結果は試験開始後140日目の値。 5. 層位は地表より5cm間隔。

次に、除草剤の処理法別の新旧塊茎数にそれぞれの調査萌芽率を乗じ、掘り取り翌年の春期における萌芽可能な塊茎数を求め、掘り取り翌年の出芽株数との関係を第20図に示した。

萌芽可能な塊茎数が $m^2$ 当たり1~5個と非常に少ない場合に、萌芽可能な塊茎数は塊茎からの出芽株数と近似した値とならなかった。しかし、全体的には萌芽可能な塊茎数と出芽株数の間には有意な直線関係が認められ、とくに萌芽可能な塊茎数が $m^2$ 当たり5~50個の範囲では両者が近似した値となった。

## (2)萌芽率と地上部指数との関係

掘り取り当年の新旧塊茎の萌芽率と地上部指数との関係を形成深度別に第21、22図に示した。地上部指数の低下と共に両塊茎ともその萌芽率が著しく減少した。新塊茎の場合には、すべての土層において両者の間に0.1%水準で有意な正の直線関係が認められた。さらに、地上部指数の低下に伴う新塊茎の萌芽率の低下度合いは層位で異なったが、その差は大きいものではなかった。

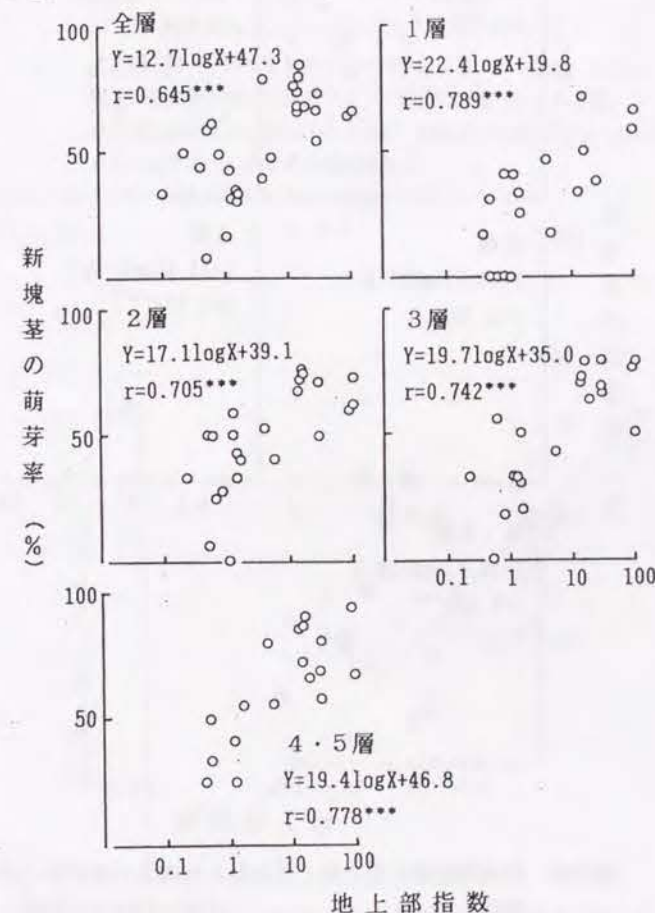


第20図 萌芽可能塊茎数と塊茎からの出芽株数との関係  
(1989-1990年の調査)

- 注) 1. ●: 無処理区, ○: 除草剤を2年ないし3年連用し、翌年(1989年又は1990年)を無処理とした。  
2. 出芽株数: 1989年および1990年7月22日調査の塊茎由来の株数。  
3. 萌芽可能塊茎数: 出芽株数調査区における前年の新旧塊茎数にそれぞれの調査萌芽率を乗じた値。  
4. \*\*\*: 有意水準0.1%で有意。

また、旧塊茎の場合には、第3層および第4・5層において1%と0.1%水準で有意な正の直線関係が認められ、その他の土層では有意ではないが両者の間に正の相関関係が見られた。旧塊茎の場合は、同じ土層の新塊茎のそれに比較して明らかに低下度合いが大きかった。

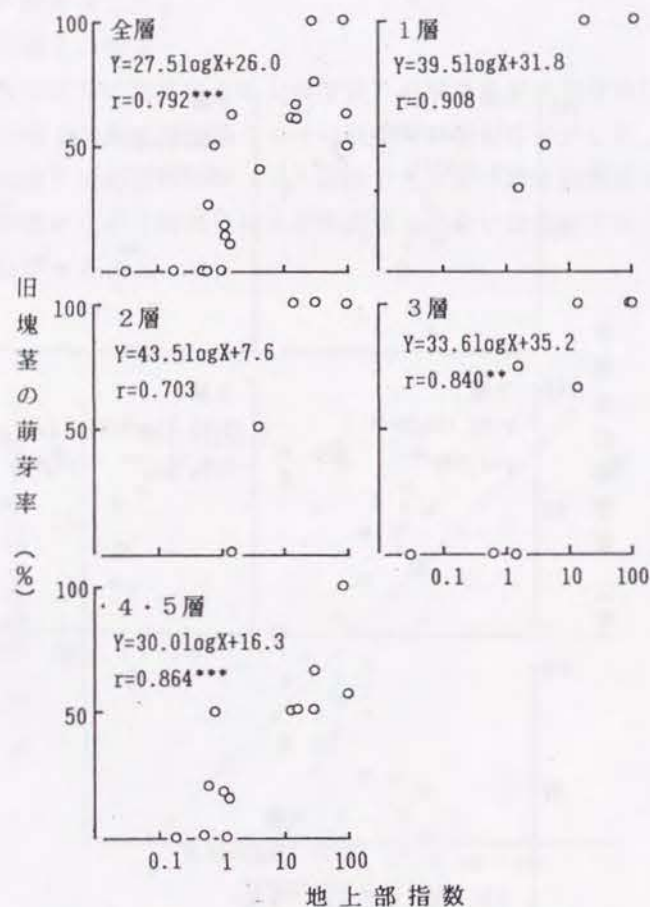
前節において、地上部生育の抑制による塊茎の仮比重の低下が塊茎の萌芽率低下の一因と推察された。そこで、新旧塊茎別に萌芽率と塊茎の仮比重、地上部指数、生体重との間



第21図 形成深度別に見た地上部指数と新塊茎の萌芽率との関係  
(1988-1989年の調査)

- 注) 1. 層位は地表より5cm間隔。  
2. 地上部指数 =  $m^2$  当たり株数 × 平均草丈の対無処理区比。  
3. 新塊茎は、調査当年に形成されたもの。  
4. \*\*\*: 有意水準0.1%で有意。

の偏相関係数を求め、第11表にその結果を示した。新塊茎の萌芽率は、仮比重との間に1%水準で有意な偏相関が認められたが、地上部指数および塊茎生体重との間には有意な偏相関関係が認められなかった。一方、旧塊茎の萌芽率は、地上部指数との間に5%水準で有意な偏相関が認められ、塊茎生体重との間には有意差は小さいが程度の偏相関値が得られた。



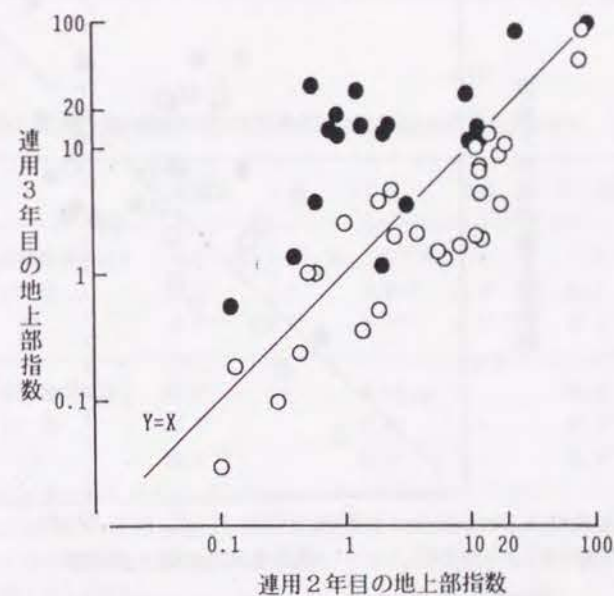
第22図 形成深度別に見た地上部指数と旧塊茎の萌芽率との関係 (1988-1989年の調査)

- 注) 1. 旧塊茎は、前年に形成された塊茎と前々年までに形成され萌芽能力を有する塊茎。  
 2. 地上部指数および萌芽率は掘り取り当年の値。  
 3. 層位および地上部指数は、第13図に準じる。  
 4. \*\*, \*\*\*: 有意水準 1%, 0.1%で有意。

第11表 新旧塊茎の萌芽率と各要因間の偏相関係数 (1988-1989年の調査)

|     | 地上部指数  | 塊茎の仮比重  | 塊茎生体重  |
|-----|--------|---------|--------|
| 新塊茎 | 0.288  | 0.863** | -0.059 |
| 旧塊茎 | 0.736* | 0.411   | 0.621  |

- 注) 1. 地上部指数 = 株数 × 平均草丈の対無処理区比、以下第12, 14表もこれに準ずる。  
 2. 塊茎の仮比重 = 塊茎生体重 (g) / 塊茎の直径 (mm) の3乗。  
 3. 新塊茎は調査当年に形成された塊茎、旧塊茎は前年以前に形成され調査当年において萌芽能力を有する塊茎の総数。  
 4. \*, \*\*: 有意水準 5%, 1%で有意。



第23図 地上部指数の経年変化と新塊茎数の増減との関係 (1988-1990年の調査)

- 注) 1. ○: 連用3年目で新塊茎数が前年より減少。  
 ●: 連用3年目で新塊茎数が前年より増加。  
 2. 地上部指数は第13図に準ずる。

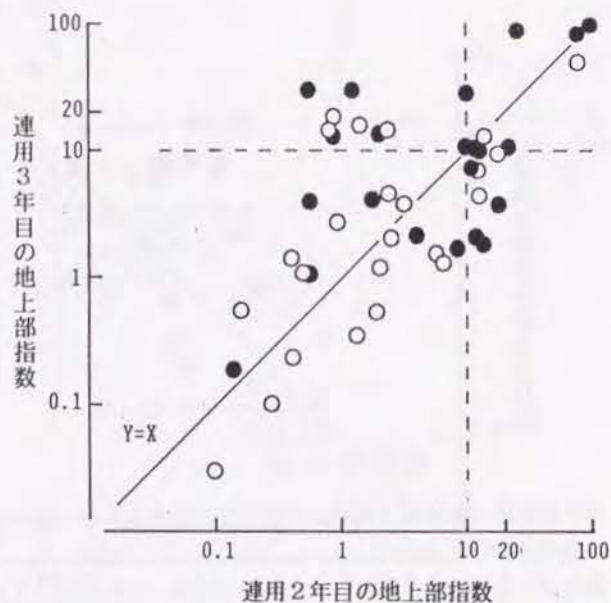
## 2. 除草剤連用による地上部指数の経年変化と塊基数の増減

### (1) 新塊基数

除草剤連用の目的は塊基数を前年より減少させ除草効果を高めることである。そこで、新塊基数を前年より減少させる地上部指数を知るため、同一試験区の除草剤連用2年目から連用3年目にかけての地上部指数の経年変化と新塊基数の増減との関係を第23図に示した。その結果、新塊基数が前年より減少するのは、地上部指数が前年より小さくなる場合と、連用2年目の地上部指数が概ね3%以下で、連用3年目の地上部指数が前年と同じか僅かに大きい場合であった。

### (2) 旧塊基数

新塊基数と同様に、連用2年目から3年目にかけての地上部指数の経年変化と旧塊基数との関係を第24図に示した。旧塊基数の増減と地上部指数の経年変化との関係は明らかでなかった。しかし、旧塊基数が前年より減少する場合は、ほとんど両年の地上部指数が20%以下の範囲であった。さらに地上部指数が両年とも10%以下では、21調査点中15点と高頻度で旧塊基数が前年より減少した。



第24図 地上部指数の経年変化と旧塊基数の増減との関係  
(1988-1990年の調査)

- 注) 1. ○: 連用3年目で旧塊基数が前年より減少。  
●: 連用3年目で旧塊基数が前年より増加。  
2. 地上部指数は第13図に準ずる。

## 3. 新旧塊基数の生存率

旧塊基数は前年に形成された塊基数と前々年までに形成され前年秋期に生存していた塊基数から構成され<sup>5)</sup>、地上部生育の抑制は生産塊基数の次年度への生存率に影響すると考えられた。

そこで、塊基数の経年抑制から見た地上部指数の目標値10%で連用2、3年の地上部指数を2分し、両年の地上部指数の組み合わせを4分割した(第24図)。そして、地上部指数が両年とも10%以下の場合、それ以外の場合および両者を込みにした全体に分け、形成深度別に見た新旧塊基数の生存率を式2より求め第12表に示した。ただし、式2で求めた第4・5層の新塊基数および第1～3層の旧塊基数は生存率の有意性が低いため、これらの生存率は第4・5層の旧塊基数および第1～3層の新塊基数の生存率と各土層における塊基数から式2を逆算して求めた。

全体で見ると全層の生存率は新塊基数で6.4%、旧塊基数で59.8%と旧塊基数の生存率が非常に高かった。これに対し、両年の地上部指数10%以下の区分内での新塊基数の全層生存率は、4.2%と低く、旧塊基数は22%と全体の約1/3を示し、地上部生育の抑制が強くなれば新旧塊基数とも生存率がこれに対応して低下した。

形成深度別に見た新塊基数の全体生存率は、第1層で1.9%と低く、第2層9.2%、第3層13.5%、第4・5層16.1%と深くなるにしたがい高くなった。除草剤連用2年目、3年目の地上部指数がそれぞれ10%以下区分の場合、新塊基数の生存率は第1層3.2%、第2層

第12表 地上部の抑制程度および形成深度別に見た新旧塊基数の生存率 (1988-1989年の調査)

| 区分   | 全層             | 1層      | 2層     | 3層      | 4・5層    | サンプル数   |    |
|------|----------------|---------|--------|---------|---------|---------|----|
| 新塊基数 | 両年とも地上部指数10%以下 | 4.2* %  | 3.2* % | 7.8***% | 2.4 %   | 2.3 %   | 21 |
|      | 上記以外           | 5.1*    | 1.6    | 8.8***  | 10.3*   | 22.7    | 29 |
|      | 全体             | 6.4***  | 1.9*   | 9.2***  | 13.5*** | 16.1    | 50 |
| 旧塊基数 | 両年とも地上部指数10%以下 | 22.0*   |        | 24.6*   |         | 60.9*** | 21 |
|      | 上記以外           | 66.4**  |        | 70.0*   |         | 41.3*   | 29 |
|      | 全体             | 59.8*** |        | 46.2*   |         | 54.5*** | 50 |

- 注) 1. 区分は第17図による。区分における地上部指数は除草剤連用2年目および3年目の数値。  
2. 生存率は、式2: 除草剤連用3年目の旧塊基数 = 連用2年目の新塊基数 × 生存率 + 連用2年目の旧塊基数 × 生存率 + C (定数) より求めた。  
3. 新旧塊基数は除草剤連用2年目および3年目の秋期に掘り取り、塊基数で類別し計数したもので、新塊基数は調査当年に形成された塊基数、旧塊基数は調査当年以前に形成され当年秋期において生存している塊基数。  
4. 層位は地表より5cm間隔。 5. 旧塊基数値\* は1～3層の合計値。  
6. \*, \*\*, \*\*\*: 有意水準5%, 1%, 0.1%で有意。

第13表 秋期における旧塊茎中の既萌芽・未萌芽塊茎数（1989年10月11日調査）

|       | 前年（1988年）の塊茎区分              |                              | 合計                           |
|-------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|
|       | 新塊茎                         | 旧塊茎                          |                              |
| 既萌芽塊茎 | 4.6個/m <sup>2</sup> (16.5%) | 12.0個/m <sup>2</sup> (43.0%) | 16.6個/m <sup>2</sup> (59.5%) |
| 未萌芽塊茎 | 9.5 (34.0)                  | 1.8 (6.5)                    | 11.3 (40.5)                  |
| 合計    | 14.1 (50.5)                 | 13.8 (49.5)                  | 27.9 (100.0)                 |

- 注) 1. 比率は総旧塊茎（m<sup>2</sup>当り27.9個）に占める割合。  
 2. 前年の塊茎区分は調査年の旧塊茎が新塊茎由来か旧塊茎由来かを示す。  
 3. 新塊茎由来の未萌芽塊茎数 = 前年の新塊茎数 × 萌芽試験において新塊茎が未萌芽で生存する比率。  
 4. 旧塊茎由来の未萌芽塊茎数 = 前年の旧塊茎数 × 萌芽試験において旧塊茎が未萌芽で生存する比率。  
 5. 新塊茎由来の既萌芽塊茎数 = 前年の新塊茎数 × 式2における新塊茎の生存率 - 新塊茎由来の未萌芽塊茎数。  
 6. 旧塊茎由来の既萌芽塊茎数 = 前年の旧塊茎数 × 式2における旧塊茎の生存率 - 旧塊茎由来の未萌芽塊茎数。  
 7. 式2は第12表の注) 2. に準ずる。

第14表 連用3年目の地上部指数と各要因間の偏相関係数（1987-1989年の調査）

| 連用1年目の地上部指数 | 連用2年目の地上部指数 | 連用2年目の総塊茎数 | 連用3年目春期の萌芽可能塊茎数 |
|-------------|-------------|------------|-----------------|
| 0.654       | -0.294      | -0.584     | 0.829*          |

- 注) 1. 除草剤連用3年目春期の萌芽可能塊茎数 = 連用2年目に掘り取った新塊茎数 × その萌芽率 + 連用2年目に掘り取った旧塊茎数 × その萌芽率。  
 2. \*: 有意水準 5%で有意。

7.8%, 第3層で2.4%, そして第4・5層は2.3%と低下し, 第1層を除いて各層で全体よりも低い値を示した。

形成深度別に見た旧塊茎の全体生存率は第1~3層で46.2%, そして第4・5層で54.5%と新塊茎に比べきわめて高く, 地上部指数10%以下では第1~3層24.6%と低く, 第4・5層では60.9%と高かった。

#### 4. 旧塊茎中の既萌芽塊茎の割合

秋期における旧塊茎中の既萌芽, 未萌芽の塊茎数とその比率は, 各除草剤処理区の新旧

塊茎数の平均値, 新旧塊茎が未萌芽で生存する比率(第10表)および新旧塊茎の生存率(第12表)から計算して求め第13表に示した。秋期における旧塊茎中の既萌芽塊茎の割合は59.5%で, その内訳は前年の新塊茎から由来したものの16.5%, 前年の旧塊茎から由来したものの43%と旧塊茎由来が多数を占めた。一方, 秋期の旧塊茎に占める未萌芽塊茎の割合は40.5%で, その内訳は前年の新塊茎から由来したものの34%, 前年の旧塊茎から由来したものの6.5%と新塊茎由来が多数を占めた。

#### 5. 地上部指数と二, 三の要因との関係

除草剤を連年施用した場合, 除草剤および処理法並びに無処理区の生育が試験年次間でほぼ同じでも, 試験区によっては地上部指数が年と共に減少する場合が見られた。そこで, 無処理区の生育(m<sup>2</sup>当り株数×平均草丈)が除草剤連用2年目(220×83), 3年目(237×93)とほぼ等しい試験Iにおいて, 連用3年目の地上部指数に影響すると考えられる要因を除草剤連用年次ごとに選定し, 両者間の偏相関係数を求め第14表に示した。

その結果, 除草剤連用3年目の地上部指数は連用3年目春期の萌芽可能な塊茎数との間にのみ5%水準で有意な偏相関が認められ, 連用1年目の地上部指数との間には有意差は小さいがある程度の偏相関値が得られた。

#### 考 察

萌芽試験の結果は次年度の出芽をほぼ正確に反映しており萌芽試験結果の妥当性が示唆された。地上部抑制下で形成された新塊茎および残存した旧塊茎は水稲移植後37日でほとんど出芽したと推察され(第20図), 萌芽の斉一化の一因として旧塊茎では環境休眠が, 新塊茎では第1章第2節で明らかになった塊茎形成始期の遅延が考えられた。また, 未萌芽で生存している塊茎の割合は, 本間らの掘り取り結果<sup>9)</sup>に比較して非常に低く(第10表), 地上部生育の抑制の影響が示唆された。

塊茎の形質に対するクログワイ地上部の生育抑制を検討する場合, その塊茎が春期に萌芽して親塊茎となり, その地上部の生育が除草剤による抑制を受けた塊茎か否かを明らかにすることが重要である。旧塊茎の59.5%は当該年に萌芽した既萌芽塊茎で, 旧塊茎の34%が新塊茎由来で当該年に萌芽しなかった未萌芽塊茎であった(第13表)。つまり, 掘り取り当年の地上部生育の抑制の影響を旧塊茎の約60%が受け, 掘り取り当年の地上部指数と旧塊茎の形質との関係を検討することの妥当性が示された。また, 旧塊茎の34%を占める前年の新塊茎由来の未萌芽塊茎は前年の地上部生育の抑制の影響を受けており, 連年の地上部指数の影響を旧塊茎の約94%が受けたと考えられた。以上より, 塊茎の形質と地上部指数との関係を連年で検討することの重要性が明らかになった。

塊茎の萌芽率は塊茎数とともに春期の出芽株数を決定する重要な要素である。新旧塊茎の萌芽率は地上部抑制に伴い低下する傾向が見られた(第21, 22図)。萌芽率低下の原因



は新塊茎と旧塊茎で異なり、新塊茎の場合は塊茎の充実度不足を示すと見られる地上部抑制による仮比重の低下が、旧塊茎の場合は再萌芽を含む萌芽茎の生育抑制による養分消耗が主因と考えられた(第11表)。また、未萌芽旧塊茎の場合は、塊茎形成時の地上部抑制による仮比重の低下に加え、休眠中の維持呼吸による養分消耗が原因と推察された。

前節の結果より、新塊茎数の地上部指数に対する減少率は除草剤連用年次間でほぼ一定のため、新塊茎数を前年より減少させるには、地上部指数を前年より小さくする必要がある(第23図)。一方、旧塊茎数の場合には、調査前年と調査当年の地上部指数の相互関係の検討が重要と考えられた。つまり、調査前年の地上部指数は、前年の新塊茎の形成数と前々年から前年にかけての塊茎の生存率に関係し、調査当年の地上部指数は、前年に存在した新旧塊茎の当年の秋期における生存率に関係するからである。旧塊茎数を連年継続して減少させるには、除草剤連用2年および3年目の地上部指数を10%以下とし(第23、24図)、塊茎の形成数を少なくすると共に新旧塊茎の生存率を低下させることが必要であった(第12表)。新旧塊茎の生存率は、一部の土層の塊茎を除いて地上部抑制により著しく低下することが認められた。その原因として地上部抑制による新旧塊茎の萌芽率の低下、萌芽・再萌芽茎の生育抑制にともなう養分消耗による塊茎充実度の低下が考えられた。また、地上部指数が連年で10%以下の場合、全層の生存率は新塊茎4.2%、旧塊茎22%と非常に低いため、生存率の低下には生育期における除草剤による地上部の枯殺および再萌芽による養分消耗の促進が特に有効と推測された。

最後に、除草剤の連年施用における防除効果の向上を新旧塊茎数の推移との関係から考察する。除草剤連用2年目の地上部指数を20%できれば10%以下に抑え、連用3年目の地上部指数がこれ以下となれば、年と共に新塊茎数は減少し新旧塊茎の生存率の低下により総塊茎数も減少すると考えられる。これに加えて萌芽率も低下することにより萌芽可能塊茎数が年と共に減少し、地上部指数がさらに低下するとみられる(第14表)。つまり、地上部生育の抑制が塊茎数やその諸形質を低下させ、これらがさらに次年度春期における萌芽可能塊茎数に影響し、次年度の地上部生育の抑制程度を変化させるフィードバック・ループが、クログワイの地上部生育と塊茎形成およびその生存との関係に存在すると推察された。そして、このフィードバック・ループをモデル化できれば、地上部指数と塊茎の関係を単年度で解明するだけでなく、増殖の考えを加え、次年度の発生量を予測し、地上部指数の連年動向を除草剤処理1年目の地上部指数から推測できると考えられた。

## 摘 要

除草剤の連年施用によるクログワイの地上部生育の抑制と新旧塊茎の萌芽率および次年度への生存率との関係を解明し、除草剤の連年施用下における防除効果の向上を新旧塊茎数の推移から検討した。その結果、次のようなことが明らかになった。

1. 旧塊茎の60%が既萌芽で、その72%が前年度の旧塊茎から由来した。そして、旧塊茎の40%が未萌芽で、その84%が前年度の新塊茎から由来した。
2. 地上部生育の抑制にともない新旧塊茎の萌芽率が低下した。その原因として、新塊茎では充実度の低下、既萌芽旧塊茎では養分消耗の促進が考えられた。
3. 除草剤連用3年目で新旧塊茎数をそれぞれ前年より減少させるには、連用2年目の地上部指数を10%以下とし、連用3年目ではさらに低下させる必要があった。
4. 新旧塊茎の生存率は、地上部生育の連年抑制により著しく低下した。
5. 除草剤連用下におけるクログワイ地上部の生育抑制と塊茎の萌芽および生存との間にフィードバック・ループが存在すると推察された。

### 第3章 雑草の生育許容限界から見た クログワイの防除目標

#### 第1節 クログワイの生育許容限界

クログワイを効率的に防除するには、著しく不斉一な発生に対処する必要がある。有効な初期除草剤を発生始期の抑制剤として使用し、さらにスルホニルウレア系除草剤および後期剤のペンタゾン剤等を組み合わせた体系処理の2, 3年連用が効果的である<sup>22)</sup>。しかし、雑草害の定量化<sup>23)</sup> および経年的にクログワイを抑制できる防除水準(第2章第2節)についての報告は極めて少ない。

そこで本節では、雑草の経年抑制の観点から、第1章で明らかになった塊茎形成に緊密に関係するクログワイの㎡当り株数と平均草丈との積を雑草生育量の診断基準として用い、容認できる水稲減収との関係から見た雑草許容量を圃場の除草剤連年施用試験結果から水稲の生育時期別に明らかにした。

#### 材料および方法

##### 1. 試験区の構成と耕種概要

除草剤の3年連用試験の方法は、第2章のとおりで、1987年から1989年の試験Ⅰと1988年から1990年の試験Ⅱの2試験に分けて、それぞれ1aおよび2aの面積で実施した。各年次ともに、水稲は品種「ホウレイ」を6月15日に移植し、中干しは実施せず、秋の落水は9月20日頃行い、収穫は10月5日とした。施肥は、窒素成分で基肥5kg/10a、穂肥2.5kg/10aを2回の総計10kgを施用した。除草剤処理区は1区3㎡、除草剤無処理区は1区1.8㎡とした。

##### 2. 調査方法

クログワイの地上部生育の調査は、試験Ⅰ・Ⅱともに7月25日前後(水稲中干し期)および9月20日前後(塊茎形成期)に各試験区の全株数および各試験区の最長株から10株目までの株の草丈を測定し、前者を㎡当りに換算して各試験区の㎡当り株数、後者を平均して各試験区の平均草丈とした。そして水稲は、成熟期に試験区中央10株の穂数を測定し、試験区の中央1.5㎡を刈り取り、乾燥、脱穀後風選し精粉重およびワラ重を計測した。また試験Ⅰ・Ⅱともに、除草剤連用3年目(1989年と1990年)に試験区中央の水稲5株を成熟期に抜き取り収量構成要素を調査すると共に、塊茎を掘り取る位置で試験区0.25㎡のクログワイ地上部を抜き取り風乾重を測定した。

クログワイ塊茎の萌芽率調査の方法は、第2章のとおりで、試験Ⅰの除草剤連用2, 3年目(1988年および1989年)の区から掘り取った塊茎の内で損傷のない健全な新塊茎1802

個および旧塊茎126個を供試した。塊茎は、その表面の色によって光沢の無い暗黒色の塊茎を旧塊茎、白色から黒赤色を新塊茎と区分した。

クログワイの地上部生育の程度の指標としては、式3のごとくに定義した地上部生育量を用いた。なお前章で定義した地上部指数は、地上部生育量を用いれば、式4のとおり定義できる。

$$\text{地上部生育量} = \frac{\text{㎡当り株数} \times \text{平均草丈 (cm)}}{100} \quad \text{式3}$$

$$\text{地上部指数} = \frac{\text{除草剤処理区の地上部生育量}}{\text{除草剤無処理区の地上部生育量}} \times 100 \quad \text{式4}$$

#### 結果

##### 1. 水稲の生育、収量および除草剤処理の影響

第15表は、塊茎形成期におけるクログワイの生育量別に見た水稲の生育、収量の概要を示したものである。アール当り精粉重は無雑草区60kgに対し、生育量「小」では58.0kgと無雑草区対比94%であった。生育量「中」では精粉重50.4kgで対比84%であったが、生育

第15表 クログワイの生育量が水稲の生育・収量に及ぼす影響 (1990年の調査)

| クログワイ<br>生育量 | クログワイの地上部生育  |            |           |            | 水稲の地上部生育・収量 |             |          |          |           |            |           |          |
|--------------|--------------|------------|-----------|------------|-------------|-------------|----------|----------|-----------|------------|-----------|----------|
|              | 地上部<br>生育量   | 平均草丈<br>cm | 株数<br>本/㎡ | 乾物重<br>g/㎡ | 精粉重<br>kg/a | ワラ重<br>kg/a | 稈長<br>cm | 穂長<br>cm | 穂数<br>本/株 | 穎花数<br>個/穂 | 登熟歩合<br>% | 千粒重<br>g |
| 無            | 0            | -          | -         | -          | 60.0        | 56.0        | 77       | 20.0     | 355       | 83.1       | 87.4      | 24.0     |
| 小            | 0 < ≤ 50     | 60         | 41        | 24         | 58.0        | 52.5        | 74       | 20.3     | 329       | 78.5       | 88.4      | 24.3     |
| 中            | 50 < ≤ 300   | 84         | 124       | 104        | 50.4        | 47.0        | 74       | 19.1     | 280       | 77.3       | 86.6      | 24.1     |
| 大            | 300 < ≤ 1000 | 97         | 561       | 545        | 30.0        | 27.0        | 75       | 18.1     | 198       | 75.3       | 78.9      | 23.1     |

注) 1. 結果は、各クログワイ生育量に該当する種々の除草剤処理区および無処理区の平均値。  
2. 地上部生育量 = ㎡当り株数 × 平均草丈 (cm) / 100。  
3. クログワイの地上部生育は9月20日、水稲の生育・収量は10月5日に調査。

量「大」では精粉重30kgと同比50%の著しい低収となった。穂数は、生育量「中」で無雑草区対比79%、生育量「大」では同56%と収量構成要素の中で最も減少した。一穂穎花数は、生育量「中」で無雑草区対比93%、生育量「大」では同91%と低下した。また、登熟歩合および千粒重は、生育量「大」においてそれぞれ無雑草区対比90%および96%と低下した。

クログワイによる水稲減収に対して、各収量構成要素が寄与するそれぞれの割合を式5によって算出してみると、穂数の寄与する割合は40.5%と高く、次いで千粒重の寄与する割合が27.8%、登熟歩合および一穂穎花数の寄与する割合はそれぞれ16.0%および15.7%であった。

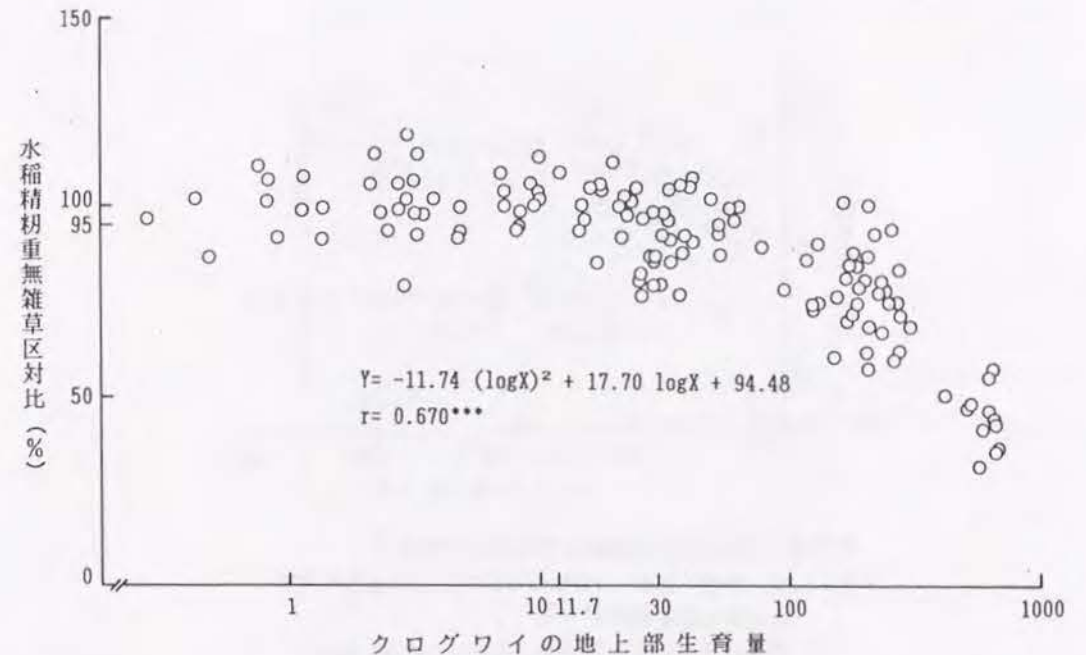
各収量構成要素が水稲減収に寄与する割合:

$$\left\{ 1 - \frac{\text{各収量構成要素における偏差の平均平方}}{\text{精粉重元来の平均平方}} \right\} \times 100 \text{ の全体に占める比率} \quad \text{式5}$$

第16表 クログワイの各地上部形質(x)に対する水稲精粉重無雑草区対比(y)の直線回帰の試験間における比較

| 地上部形質  | 試験   | 回帰式                    | 相関係数      | 共分散分析(F値) |      | 試験I・IIをまとめた場合         |           |
|--------|------|------------------------|-----------|-----------|------|-----------------------|-----------|
|        |      |                        |           | 傾き        | 高さ   | 回帰式                   | 相関係数      |
| 平均草丈   | 試験I  | $y = -0.2350x + 107.7$ | -0.379*** | 146.23**  | -    |                       |           |
|        | 試験II | $y = -0.9036x + 156.3$ | -0.724*** |           |      |                       |           |
| ㎡当り株数  | 試験I  | $y = -0.0952x + 100.3$ | -0.723*** | 1.22      | 0.10 | $y = -0.0859x + 99.4$ | -0.838*** |
|        | 試験II | $y = -0.0828x + 98.7$  | -0.877*** |           |      |                       |           |
| 地上部生育量 | 試験I  | $y = -0.1002x + 99.7$  | -0.701*** | 1.44      | 0.27 | $y = -0.0878x + 98.4$ | -0.836*** |
|        | 試験II | $y = -0.0856x + 98.2$  | -0.886*** |           |      |                       |           |
| 地上部風乾重 | 試験I  | $y = -0.0884x + 98.5$  | -0.909*** | 1.09      | 0.03 | $y = -0.0804x + 97.3$ | -0.866*** |
|        | 試験II | $y = -0.0699x + 96.1$  | -0.806*** |           |      |                       |           |

注) 1. 試験Iは1987-1989年調査, 試験IIは1988-1990年調査。ただし地上部風乾重の試験Iは1989年調査, 試験IIは1990年調査。  
 2. 各地上部形質は9月20日前後に、クログワイ地上部風乾重および水稲精粉重は10月5日に調査。  
 3. 地上部生育量=㎡当り株数×平均草丈(cm)/100。  
 4. クログワイ地上部形質として平均草丈を用いた場合、回帰式の傾きが異なるため高さ(試験I・IIの精粉重無雑草区対比の修正平均)の比較は実施せず。  
 5. 試験I, IIにおいて回帰式の傾きおよび高さが異ならなければ、試験I・IIをまとめた場合の回帰式と相関係数を示した。  
 6. \*\*, \*\*\*: 有意水準1%, 0.1%で有意。



第25図 水稲成熟期におけるクログワイの地上部生育量と水稲精粉重の関係(1987-1990年調査)

注) 1. 試験I, IIの全試験区を含む。  
 2. 地上部生育量=㎡当り株数×平均草丈(cm)/100, 9月20日前後に調査。  
 3. 精粉重の調査は10月5日。 4. \*\*\*: 有意水準0.1%で有意。

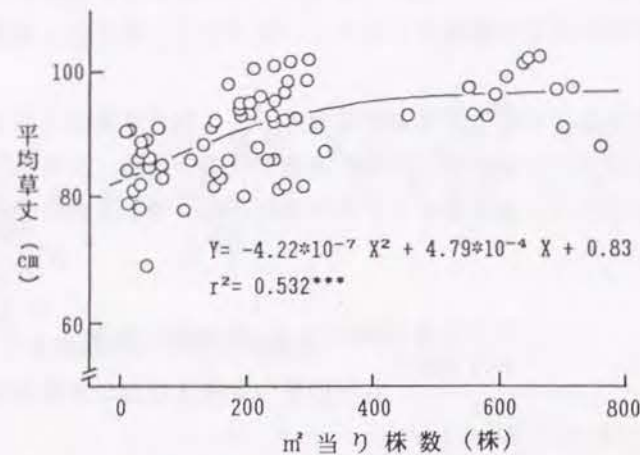
## 2. クログワイ地上部形質の比較

第16表は、各地上部形質で見た雑草生育量に対する精粉重無雑草区対比の直線回帰の傾きおよび高さ(精粉重無雑草区対比の修正平均)を試験間において比較したものである。精粉重無雑草区対比と各地上部形質で示した雑草生育量との間には、試験I・IIにおいて有意な負の相関関係がそれぞれ認められた。そしてクログワイの㎡当り株数、地上部生育量および地上部風乾重等の形質の場合、試験I・IIの間における両回帰直線は、その傾きおよび高さに有意な差がなく、同一と見なせた。しかし平均草丈を用いた場合、両回帰直線の傾きが異なり、試験I・IIの間において両回帰直線は同一と見なせなかった。

## 3. クログワイの生育許容限界

### (1) 塊茎形成期の雑草許容限界

第25図は、塊茎形成期の地上部生育量と無雑草区対比の水稲精粉重との関係をすべての試験年次の結果について示したものである。その結果、無雑草区対比の精粉重と対数で示した地上部生育量との間には、0.1%水準で有意な2次回帰の関係が認められた。水稲収量に影響しないクログワイの最大生育量、つまり第25図の2次回帰曲線において無雑草区



第26図 クログワイの株数と平均草丈の関係

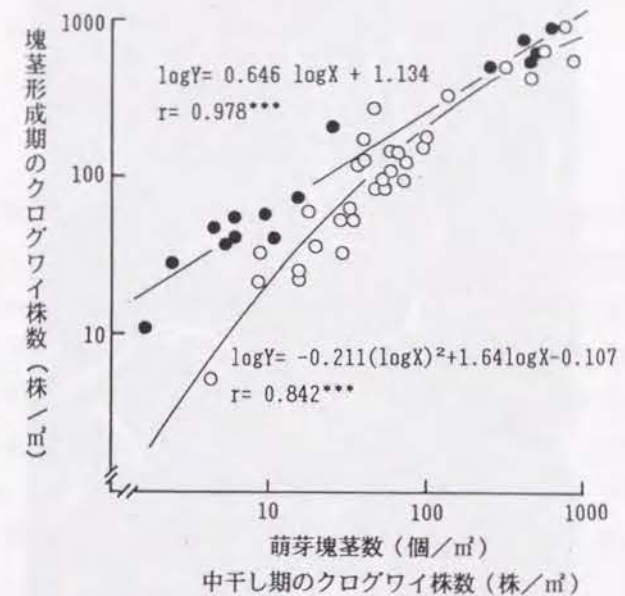
- 注) 1. データは、1987-1990年の4か年における除草剤無処理区の調査結果。  
 2. m<sup>2</sup>当り株数および草丈は、9月20日前後に調査。  
 3. \*\*\*: 有意水準0.1%で有意。

対比の精粉重が、100%以下とならない塊茎形成期の最大の地上部生育量は11.7であった。また、精粉重が同95%となる雑草生育量は、第25図から塊茎形成期の地上部生育量30.0となった。

第26図は、クログワイの地上部生育量を構成する要素であるm<sup>2</sup>当り株数と平均草丈との間の関係を除草剤無処理区において見たものである。その結果、m<sup>2</sup>当り株数と平均草丈の間には、0.1%水準で有意な2次回帰が認められた。第26図を用い、塊茎形成期における雑草許容限界を除草剤無処理区におけるm<sup>2</sup>当り株数と平均草丈に分けて表示することができる。つまり、無雑草区対比の精粉重が100%以下とならない雑草許容限界は、m<sup>2</sup>当り株数が13.9株で平均草丈が84cmのクログワイ群落となる。そして精粉重が同95%となる雑草許容限界は、m<sup>2</sup>当り株数が35.5株で平均草丈が85cmの群落となった(第17表)。

#### (2) 水稲生育時期別の雑草許容限界

第27図は、除草剤無処理区のクログワイについて、春期の萌芽塊茎数および中干し期のm<sup>2</sup>当り株数(第28図)と塊茎形成期のm<sup>2</sup>当り株数との関係を示したものである。春期の萌芽塊茎数は、前年秋期に掘り取った新旧塊茎数に、それぞれの萌芽率を乗じて求めた。春期の萌芽塊茎数は、塊茎形成期のm<sup>2</sup>当り株数との間に0.1%水準で有意な正の1次回帰が認められた。そして中干し期のm<sup>2</sup>当り株数と塊茎形成期のm<sup>2</sup>当り株数との間には、0.1%



第27図 クログワイにおける萌芽塊茎数および中干し期の株数と塊茎形成期の株数との関係

- 注) 1. データは1989-1990年の2か年における除草剤無処理区の調査結果。  
 2. ●: 春期の萌芽塊茎数, ○: 中干し期の株数。  
 3. 萌芽塊茎数は、前年の10月10日前後に掘り取った新旧塊茎数にそれぞれの調査萌芽率を乗じた値。萌芽率は、掘り取った塊茎を約7°Cの湿潤条件下で50日間貯蔵後、水温20-25°Cの湛水土中に埋め込み、140日間に萌芽した塊茎数より求めた。  
 4. 塊茎形成期の株数は9月20日に、また中干し期の株数は7月25日調査。  
 5. \*\*\*: 有意水準0.1%で有意。

水準で有意な正の2次回帰が認められた。

前項では、塊茎形成期における雑草の許容限界をクログワイのm<sup>2</sup>当り株数と平均草丈に分けて示した。この塊茎形成期におけるm<sup>2</sup>当り株数を第27図にあてはめ、除草剤無処理区における生育時期別のクログワイ最大生育量を求め、第17表に示した。水稲収量に影響しないクログワイの最大生育量は、春期の塊茎萌芽期においてm<sup>2</sup>当り萌芽塊茎数1.0個、そ



第28図 水稲中干し期におけるクログワイの生育

第17表 生育時期別に見たクログワイの生育許容限界 (1987-1990年の調査)

| 生育時期<br>許容限界の区分         | 塊茎の萌芽期                 | 水稲中干し期                    | 塊茎形成期                             |             |
|-------------------------|------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-------------|
|                         | 萌芽塊茎数 個/m <sup>2</sup> | クログワイの株数 株/m <sup>2</sup> | 地上部生育量 (m <sup>2</sup> 当り株数×平均草丈) |             |
| 水稲収量に影響しない<br>最大生育量     | 1.0                    | 7.2                       | 11.7                              | (13.9 × 84) |
| 水稲収量が5%以上低下<br>しない最大生育量 | 4.4                    | 15.6                      | 30.0                              | (35.5 × 85) |

注) 1. 塊茎の萌芽期は 6月上旬、水稲最高分けつ期は 7月25日前後、塊茎形成期は 9月20日前後。  
 2. 地上部生育量 = m<sup>2</sup>当り株数 × 平均草丈 (cm) / 100。 3. 塊茎の萌芽期および水稲中干し期の許容限界は、除草剤無処理区の調査結果から算定。塊茎形成期は各種除草剤の処理区を含む調査結果から算定。  
 4. 塊茎形成期の地上部生育量の ( ) 内は、除草剤無処理区の値から算定。

して中干し期のm<sup>2</sup>当り株数 7.2株となった。同様に、無雑草区対比の精粉重が95%となる最大生育量は、春期の塊茎萌芽期においてm<sup>2</sup>当り萌芽塊茎数 4.4個、そして中干し期ではm<sup>2</sup>当り株数15.6株となった。

### 考察

最初に水稲収量の減少を収量構成要素に分けて検討した結果から、雑草害の様子をまとめて示す。クログワイの影響は穂数に最も強く現われ、雑草生育量が増加するにつれ穂数の決定以降も穎花数および登熟歩合で影響が現われた(第15表)。これは塊茎形成始期までクログワイの地上部乾物重の増加および分株形成が続き<sup>22)</sup>、塊茎形成始期が水稲の出穂後となったためと考えられた。その中で、水稲減収に寄与する登熟歩合の割合は16%で、クログワイと同様に生育後期まで旺盛な生育を続けるタイヌビエの9.6%<sup>46)</sup>に比較して高かった。この点は、クログワイの生育量が穂数の決定以降も増加し、クログワイと共に水稲が倒伏する(第29図)ため、影響が千粒重と共に登熟歩合に強く現われたからと推察された(第15表)。このことから塊茎形成が水稲の出穂後となる場合、クログワイと水稲収量の関係を検討するための雑草生育量の調査は、塊茎形成期に実施するのが妥当と考えられる。

次に、雑草許容限界の数値は、年次、作期、施肥および栽植密度等の各種条件によって雑草生育量と水稲収量との関係に生じる変動を捨象できる普遍的な地上部形質で示されなければならない<sup>1)</sup>。本試験結果から、クログワイのm<sup>2</sup>当り株数、地上部生育量および地上部風乾重は、雑草生育量と水稲収量との関係に生じる試験年次間の変動を捨象でき(第16表)、クログワイ生育量を示す普遍的な地上部形質として使用できると判断された。そして、第1章で検討した塊茎形成と緊密に関係するm<sup>2</sup>当り株数と平均草丈との積で求めた地上部生育量は、クログワイを経年的に抑制する視点に立てば、主な繁殖源である塊茎の動態を的確に表す除草効果の判定指標でもあり、3地上部形質の中で最も優れると判断された。なお、地上部生育量を用いれば雑草害を速やかに診断でき、調査対象を抜き取ることなく連続して試験区を観察できる長所を有しており、利用場面が広いと判断される。

そして、水稲収量に影響しない<sup>27)</sup>若しくは収量減を5%以内にとどめるクログワイ塊茎形成期の最大生育量を明らかにし、塊茎の萌芽期および水稲中干し期の雑草許容限界を推定できた(第17表)。塊茎の萌芽期(6月上旬)は、温暖地西部普通期作の移植期に当り初期剤の処理時期に一致する。また移植後約40日の中干し期(7月中、下旬)は、幼穂形成前の後期剤の処理時期となる。このように除草剤の処理時期と一致した生育時期別の雑草許容限界を具体的な数値として明らかにできた。このことにより、雑草生育量に応じ

た除草剤処理の選択およびそれに伴う低葉量化等が期待でき、クログワイ防除のための除草剤処理を農家へ推奨する場合その意義は特に大きいと考える。

一方、伊藤<sup>23)</sup>は、晩植水稻において穂ぞろい期のクログワイ乾物重が $m^2$ 当り 100g であると玄米収量が10.9%減少すると報告しており、本試験の普通期水稻における 8.0% (第16表) を 2.9ポイント上回っている。つまり雑草害の診断において重要とされる雑草の成熟期風乾重と水稻全重・精籾重 (いずれも無雑草区対比) との関係<sup>1)</sup>が、晩植水稻と普通期水稻では異なる場合もあると推察され、本試験の許容限界を晩植水稻へ直接応用することに無理があると判断された。

最後に、本節で明らかになったクログワイの雑草許容限界は、水稻減収から見た最大雑草生育量であり、次年度以降の防除効果を予測するものではない。塊茎数の経年抑制の視点から塊茎形成期の雑草許容限界と除草剤連用1年目の地上部指数との関係を詳細に検討するには、第2章で明らかになったクログワイの地上部生育と塊茎形成およびその生存との関係に存在するフィード・バックループのモデル化が必要と考えられた。



除草剤処理区

無処理区

第29図 クログワイによる水稻の被害

## 摘要

クログワイの増殖抑制の観点から、塊茎形成に緊密に関係する雑草生育量の診断基準を選定し、水稻生育時期別の雑草許容限界と水稻減収との関係について、除草剤の連年施用の圃場試験結果を用いて検討したところ、以下のことが明らかになった。

1. クログワイによる水稻減収に対して、穂数の寄与する割合は40.5%と高く、次いで千粒重の寄与する割合が27.8%、登熟歩合および一穂穎花数の寄与する割合はそれぞれ約16%であった。
2. クログワイの $m^2$ 当り株数と平均草丈との積で求めた地上部生育量は、試験年次によって水稻精籾重と雑草生育量との関係に生じる変動を捨象でき、雑草生育量と経年的な雑草の抑制効果との関係の診断基準として有効と判断された。
3. 水稻収量に影響しないクログワイの最大生育量 (許容限界) は、 $m^2$ 当り萌芽塊茎数では 1.0個、中干し期の $m^2$ 当り株数で 7.2株、そして塊茎形成期の $m^2$ 当り地上部生育量ならば11.7であった。
4. 対無雑草区比 5%の精籾重の減収をもたらすクログワイの最大生育量は、 $m^2$ 当り萌芽塊茎数 4.4個、中干し期の $m^2$ 当り株数15.6株、塊茎形成期の $m^2$ 当り地上部生育量30.0であった。

第2節 クログワイ生育過程のモデル化と水稲への雑草害の予測

作物と雑草の生育過程をモデル化し雑草害を予測する試みは高柳<sup>21, 22)</sup>によってなされている。著者は、すでに第2章において除草剤の連年施用下におけるクログワイ地上部の生育と塊茎の形成およびその生存との関係を量的・質的両面から追跡解明した。そして、前節ではクログワイ生育の許容限界を水稲減収との関係から明らかにした。このような一連の試験結果を普遍性・共通性のあるものとして体系化するには、第2章で明らかになったクログワイの地上部生育と塊茎形成およびその生存との関係に存在するフィードバック・ループをシステム生態学的手法を用いてモデル化し、除草剤連用1年目の除草効果からクログワイ生育の連年動向を推測できるようにする必要があると考えた。

本節では、第2章および前節のデータを用い、除草剤連用下におけるクログワイ地上部生育と塊茎の形成および生存との関係をモデル化し、生育モデルの妥当性を実測値から検証した。そして、生育モデルを用いクログワイの発生密度と除草剤の殺草力との組み合わせを変化させてシミュレーションを行い、除草剤連用下におけるクログワイ生育の連年動向について検討した。

材料および方法

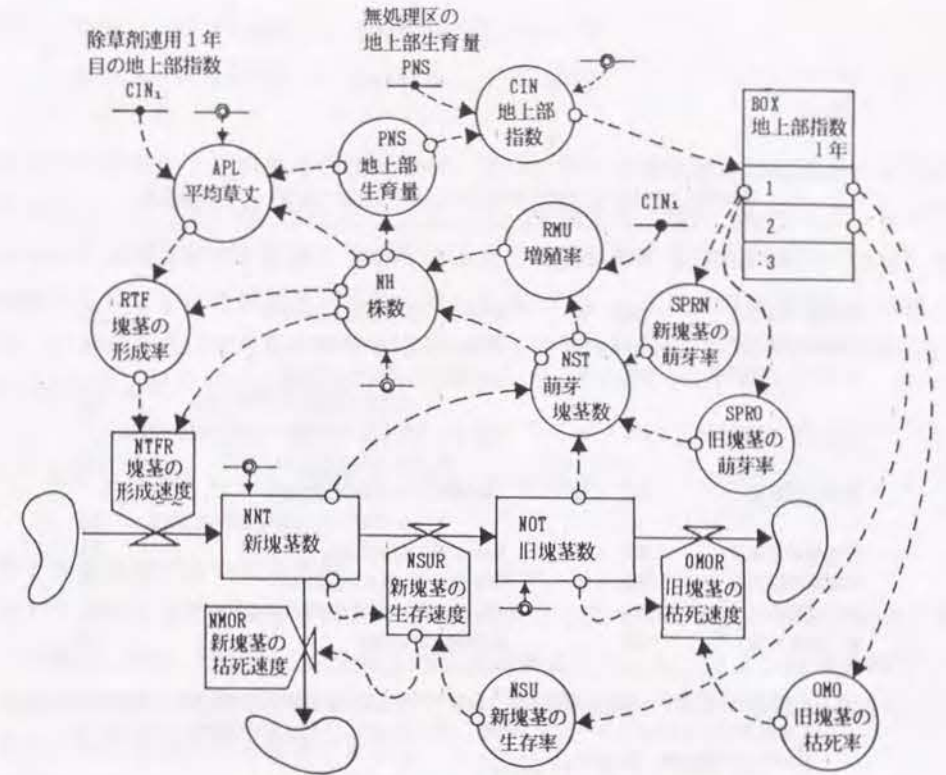
1. モデルの概要

第30図は、クログワイ地上部生育と塊茎の形成および生存との関係をシステム・ダイナミックスの手法<sup>23)</sup>を用いモデル化し、その1年間の生育過程をフローダイアグラムで示したものである。モデルは塊茎数を基礎とする「数」の流れで表されている。生育モデルに用いたすべての関係式は、圃場試験Ⅰ（1987-1989年）および試験Ⅱ（1988-1990年）の結果（第2・3章）より得られた実測データに基づき、一部を除いて本節において新たに作成した。第18表は、その主要関係式を示したものである。

新・旧塊茎の萌芽率（SPRN, SPRO: %）は、第21, 22図の全層における関係式をそのまま用いた。春期に萌芽する塊茎数（NST: 個/m<sup>2</sup>）は、土中に生存する新塊茎数（NNT: 個/m<sup>2</sup>）および旧塊茎数（NOT: 個/m<sup>2</sup>）とそれぞれの萌芽率の積和とした（式6）。なお、新塊茎は前年秋期に形成されたもの、旧塊茎は前年以前に形成され前年秋期において生存しているものとした。

$$NST = NNT \times SPRN / 100 + NOT \times SPRO / 100 \quad \text{式6}$$

増殖率（RMU: 株/個）は、増殖を抑制する要因としての除草剤連用1年目の地上部指数（CIN<sub>1</sub>）および密度効果を示す要因としての萌芽塊茎数（NST: 個/m<sup>2</sup>）との重回帰により



第30図 クログワイ生育モデルのフローダイアグラム

- 注) 1. クログワイ地上部生育と塊茎形成および生存との関係をシステム・ダイナミックスの手法<sup>23)</sup>を用いモデル化し、その1年間の生育過程をフローダイアグラムで示した。  
 2. □: 速度変数, □: 速度変数を積分して与えられる状態変数, ○: 環境変数や補助変数, →: 定数, ⊕: システムに影響しない供給源や吸収源, □: 情報の流れを遅らせるBOX, →: 物質の流れ, - - - - -: 情報の流れ, ⊖: 初期値。

求めた（第18表-（3））。塊茎形成期におけるクログワイの株数（NH: 株/m<sup>2</sup>）は、増殖率と式4より求めた春期における萌芽塊茎数との積とした（式7）。

$$NH = NST \times RMU / 100 \quad \text{式7}$$

塊茎の形成率（RTF: 個/株）は、第1章第2節で明らかになった塊茎形成に影響する茎長および密度効果を示す要因としての株数（NH: 株/m<sup>2</sup>）との重回帰により求めた（第18表-（4））。また、株における茎長の代表値としての平均草丈（APL: cm）は、第26図で明らかになった秋期の株数との2次の関係に除草剤の抑制効果を加味した。つまり、平均草丈は、秋期の株数の2次項と1次項に除草剤連用1年目の地上部指数（CIN<sub>1</sub>）を乗じた変数および除草剤連用1年目の地上部指数との重回帰から求めた（第18表-（4））。秋期に形成され

第18表 クログワイ生育モデルのシミュレーションに用いた主要関係式

| 項目名       | 略号   | 単位 | 関係式  |     |
|-----------|------|----|--|-----|
| 新塊茎の萌芽率   | SPRN | %  | SPRN=12.7×log(CIN <sub>T</sub> )+47.3  | (1) |
| 旧塊茎の萌芽率   | SPRO | %  | SPRO=27.5×log(CIN <sub>T</sub> )+26.0  | (2) |
| クログワイ増殖率  | RMU  | %  | log(RMU)=1.259×log(CIN <sub>t</sub> )<br>-0.4741×log(NST)+0.9935   | (3) |
| クログワイ平均草丈 | APL  | cm | APL=[-3.434×10 <sup>-9</sup> ×(NH) <sup>2</sup> +3.528×10 <sup>-2</sup> ×NH<br>+38.289]×log(CIN <sub>t</sub> )+2.807 | (4) |
| 塊茎の形成率    | RTF  | %  | log(RTF)=-0.3464×log(NH)<br>+0.4731×log(APL/100)+2.8928  | (5) |
| 新塊茎の生存率   | NSU  | %  | NSU=6.053×log(CIN <sub>T-1</sub> )   | (6) |
| 旧塊茎の枯死率   | OMO  | %  | OMO=100-29.66×log(CIN <sub>T</sub> )   | (7) |
| 地上部指数     | CIN  |    | CIN=(処理区のPNS/無処理区のPNS)   | (8) |
| 地上部生育量    | PNS  |    | PNS=NH×APL/100   | (9) |

注) 1. 関係式の基礎データは、圃場試験 I (1987-1989) および試験 II (1988-1990) の調査結果  
 2. 添え字の「T」はシミュレーション当年、「T-1」は前年、「1」は除草剤連用 1 年目を示す。  
 3. NST: 萌芽塊茎数, NH: 株数。

る塊茎数 (塊茎の形成速度, NTFR: 個/m<sup>2</sup>・年) は、塊茎形成期におけるクログワイの株数 (NH: 株/m<sup>2</sup>) と塊茎の形成率との積として式 8 で与えられる。

$$NTFR = NH \times RTF \quad \text{式 8}$$

秋期の土壌中には、当年に形成された塊茎とは別に、前年以前に形成され生存している旧塊茎が存在している。第 2 章第 2 節では、除草剤連用 2 年目に形成された塊茎が次年度の秋期に生存している比率を新塊茎の生存率 (a) と定義し、除草剤連用 2 年目に生存していた旧塊茎が連用 3 年目の秋期に生存している比率を旧塊茎の生存率と定義した。そして両生存率は、除草剤連用 3 年目における旧塊茎数 (y) と連用 2 年目の新塊茎数 (x<sub>1</sub>) および旧塊茎数 (x<sub>2</sub>) との重回帰式の偏回帰係数とした (式 2)。一方、新旧塊茎の生存率は、除草剤処理による地上部生育の抑制の影響を受けると予想された (第 12 表)。そこで、式 2 は式 9 に書き変えることができる。旧塊茎数は、式 9 を用いた重回帰分析により求められ、式 10 に示されるとおりである。

$$NOT_T = NNT_{T-1} \times F(CIN_T, CIN_{T-1}) + NOT_{T-1} \times Q(CIN_T, CIN_{T-1}) + C \quad \text{式 9}$$

$$NOT_T = NNT_{T-1} \times 0.06053 \times \log(CIN_{T-1}) + NOT_{T-1} \times 0.2966 \times \log(CIN_T) + 5.5035 \quad \text{式 10}$$

新塊茎の生存率および旧塊茎の枯死率が、式 10 における新旧塊茎の定数項に相当する部分から求められる (第 18 表-(6), (7))。そして、旧塊茎数 (NOT: 個/m<sup>2</sup>) は、前年の秋期に形成された新塊茎が本年秋期に生存する速度 (新塊茎の生存速度, NSUR: 個/m<sup>2</sup>・年) と前年秋期に生存していた旧塊茎が本年秋期に枯死している速度 (旧塊茎の枯死速度, OMOR: 個/m<sup>2</sup>・年) から式 11 で与えられる。なお、添え字の「T」は、シミュレート当年を表し、「T-1」はシミュレートの前年を示す。

$$NOT_T = NOT_{T-1} + NSUR - OMOR + 5.5035 \quad \text{式 11}$$

## 2. モデルの検証に用いた実測値

生育モデルの妥当性の検証は、生育モデルを策定したものとは異なる除草剤の 3 年連用試験 (試験 III: 1989-1991 年) より得られた実測値とシミュレーション結果を比較して行った。試験 III を実施した圃場は、試験 I, II を行ったのと同じの奈良農試場内 16 号水田で、クログワイが自然発生する圃場である。

第 19 表は、試験 III の区の構成と除草剤処理法を示したものである。試験 III における水稲の栽培方法およびクログワイの地上部生育と塊茎数の調査方法は、試験 I, II と同様とした。水稲を 6 月 15 日に移植し、10 月 5 日に収穫した。各試験区のクログワイ全株数および各試験区の最長株から 10 株目までの株の草丈の平均値 (平均草丈) を 9 月 22 日前後 (塊茎

第 19 表 モデル検証のためのデータを実測した調査圃場の除草剤処理法

| 試験区分                      | 試験区        | 処理方法   |
|---------------------------|------------|--|
| 試験 III<br>(1989<br>~1991) | (1) 除草剤処理区 | ① NS-112 粒剤の 1 回処理又は 2 回の体系処理, 又は MTS-1 粒剤 → NS-112 粒剤の体系処理<br>② DM-72B 粒剤 → DPX-84 粒剤又は BAS-3510(Na) 液剤との体系処理 |
|                           | (2) 無処理区   | 1 年生雑草対象剤 (ピラゾレート粒剤) のみ処理, 水稲内のクログワイは自然発生で放置   |

注) 1. 処理区によっては、1 年生雑草に有効な初期剤を適宜処理した。  
 2. NS-112: ベンゾレート 1.8%, MTS-1: CNP 9%+ゲイムン 7%, DM-72B: キクロラック 1.0%+MON-72 0.3%+ベンゾレート 0.17%, DPX-84: ベンゾレート 0.17%, BAS-3510(Na) 液: ベンゾレート Na 塩 40%, ピラゾレート: ピラゾレート 10%。  
 3. 除草剤処理区は 2×1.5m の 2 区制, 無処理区は 1.2×1.5m の面積で各除草剤処理方法当り 1 区設定した。



形成期)に測定した。塊茎の掘り取りは、除草剤連用2, 3年目の10月10日前後に除草剤処理区0.7㎡, 除草剤無処理区 0.25㎡について、深さ25cmの土層まで実施した。シミュレーションの初期値を得るため、連用開始の前年(1988年12月 8日)に除草剤無処理区0.25㎡の3か所について、深さ25cmの土層まで塊茎を掘り取った。

クログワイの地上部生育の程度の指標として用いる地上部生育量は前節の式3に、そして地上部生育の抑制の指標として用いる地上部指数は第2章第1節の式1に示すとおりとした。

### 3. シミュレーションの実行

初期値として、除草剤連用1年目の各除草剤処理区の㎡当り株数、平均草丈、地上部指数および新旧塊茎数を入力し、シミュレーションを実施した。また、除草剤無処理区の地上部生育量は、処理区と同様に初期値を入力し、前持ってシミュレートした値を定数として与えた。ただし、無処理区の地上部指数は常に100とした。

モデルの作成およびシミュレーションは、パーソナルコンピュータ(PC-9800シリーズ)を使用した。

## 結果

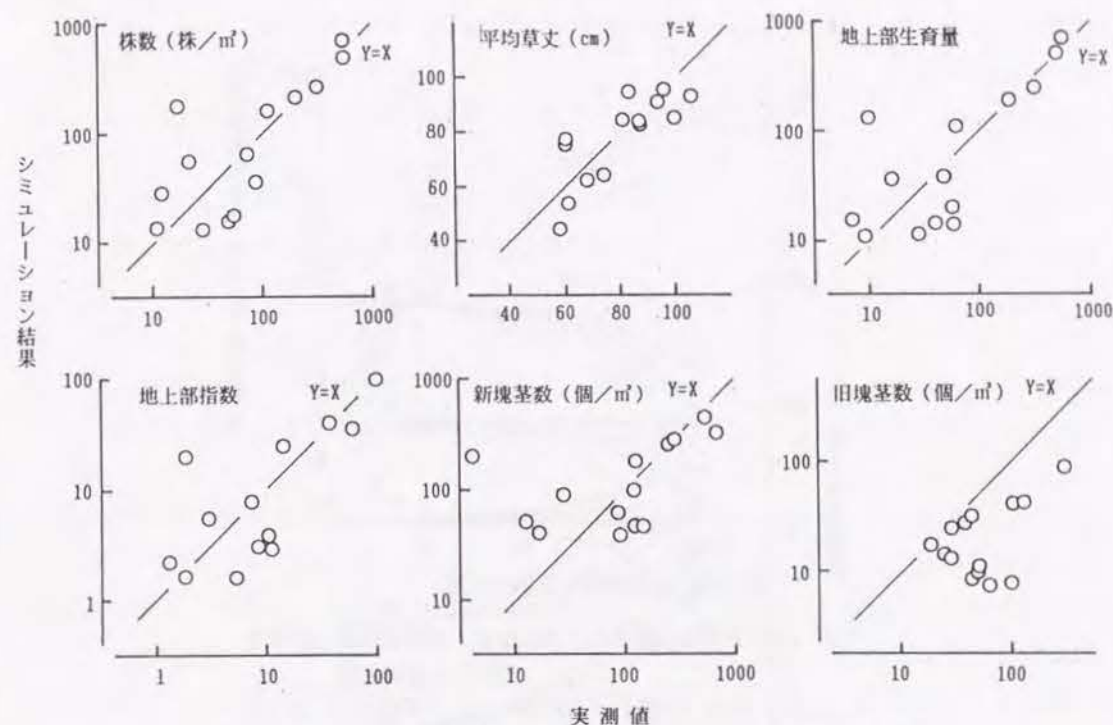
### 1. モデルの妥当性

第30図のモデルを用い、除草剤連用1年目の各除草剤処理区の㎡当り株数、平均草丈お

第20表 クログワイの形質別に見た実測値とシミュレーション結果との比較

| 形質     | 平均値の差の比較(t値) | 共分散分析(F値) |           |
|--------|--------------|-----------|-----------|
|        |              | 傾き        | 高さ        |
| ㎡当り株数  | 0.161        | 0.086     | 0.485     |
| 平均草丈   | 1.366        | 2.829     | 0.333     |
| 地上部生育量 | 0.213        | 1.008     | 0.574     |
| 地上部指数  | 0.050        | 0.833     | 0.090     |
| 新塊茎数   | 0.072        | 3.627     | 0.011     |
| 旧塊茎数   | 2.361*       | 275.10*** | 19.070*** |

- 注) 1. 実測値は試験Ⅲ(1989-1991)のデータで、塊茎数は10月5日前後、他の形質は9月22日前後に調査。  
 2. 共分散分析は、実測値(x)のシミュレーション結果(y)に対する直線回帰とシミュレーション結果が実測値と同一の場合の直線回帰(y=x)の比較(第31図参照)。  
 3. \*, \*\*\*: 有意水準5%, 0.1%で有意。

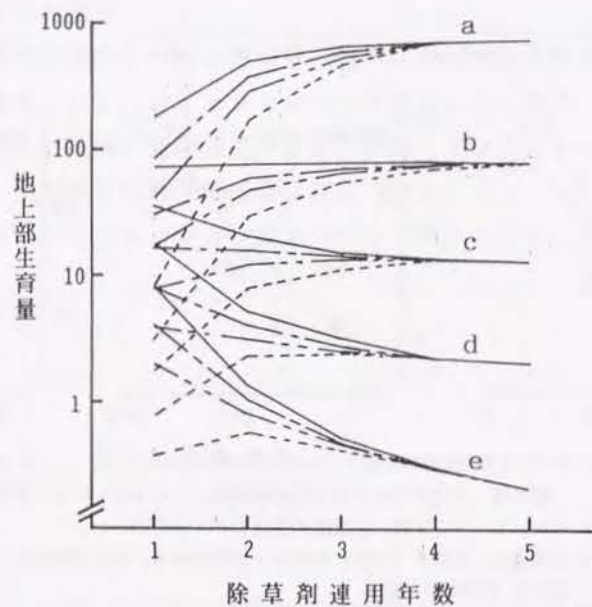


第31図 クログワイの各形質の実測値とシミュレーション結果の比較

- 注) 1. シミュレーションは、第21図の生育モデルを使用した。  
 2. 実測値は、試験Ⅲ(1989-1990年)の調査結果。地上部形質は9月22日前後、塊茎数は10月5日前後に調査。  
 3. 地上部指数は式1, 地上部生育量は式3参照。  
 4. 新塊茎: 調査当年に形成されたもの。  
 旧塊茎: 前年に形成された塊茎と前々年までに形成され萌芽能力を有する塊茎。

よび地上部指数の実測値、および無処理区の値から推定した新旧塊茎数を初期値として入力し、連用3年間をシミュレートした。第31図は、連用2, 3年目におけるクログワイの㎡当り株数、平均草丈、地上部生育量および地上部指数の4地上部形質並びに新旧塊茎数について試験Ⅲの実測値とシミュレーション結果を比較したものである。シミュレーション結果は、4地上部形質および新塊茎数について実測値とほぼ一致した。しかし旧塊茎数では、シミュレーション結果が実測値を下回る場合が多く見られた。

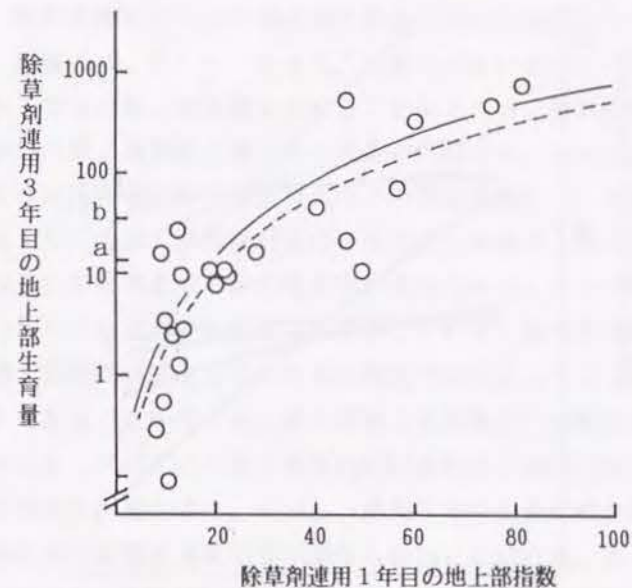
第20表は、前述のクログワイ形質別に見た実測値とシミュレーション結果の統計的比較を示したものである。まず平均値の差の比較では、4地上部形質および新塊茎数において実測値とシミュレーション結果は同一と見られたが、旧塊茎数では両者の差が有意となった。次に第31図を参照し、実測値のシミュレーション結果に対する回帰直線とシミュレーション結果が実測値と完全に一致した場合の回帰直線(y=x)との間における直線の傾き



第32図 除草剤連用下における地上部生育量の推移

(シミュレーション結果)

- 注) 1. シミュレーションは、第30図のモデルを用い、除草剤連用圃場におけるクログワイの発生株数と地上部指数の大きさとを組み合わせを変化させて実施した。
2. 地上生育量は式3参照。
3. クログワイの発生株数は、除草剤を無施用とした場合の連用1年目の塊茎形成期における値で、  
 ————— : 200株/m<sup>2</sup>, - - - - - : 100株/m<sup>2</sup>,  
 - · - · - · - : 50株/m<sup>2</sup>, · · · · · : 10株/m<sup>2</sup>。
4. 地上部指数は式1に準じ、除草剤連用1年目の塊茎形成期における除草剤無処理区の値で、  
 a : 地上部指数100, b : 同40, c : 同20, d : 同10,  
 e : 同5を示す。



第33図 除草剤連用1年目の地上部指数と連用3年目の地上部生育量との関係

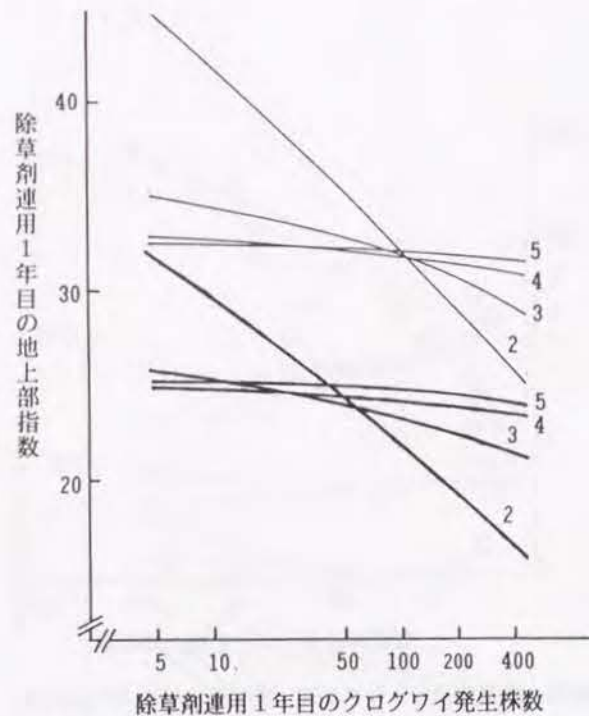
- 注) 1. O : 試験I (1987-1989年), 試験II (1989-1990年) および試験III (1990-1991年) の試験結果より得られた塊茎形成期の実測値。
2. — : クログワイ発生密度200株/m<sup>2</sup>, - - - - : 同10株/m<sup>2</sup>の場合のシミュレーション結果を示し、クログワイの発生株数は第32図に準ずる。シミュレーションは、第30図のモデルを用いた。
3. 地上部指数は式1に、地上部生育量は式3に準じた。
4. a : 地上部生育量13.7, b : 同35.5を示す。

および高さの比較を行った。その結果、4地上部形質および新塊茎数において両回帰直線の傾きおよび高さは同一と見られた。しかし、旧塊茎数では傾きおよび高さが異なった。

## 2. シミュレーション結果から見たクログワイの地上部生育の連年動向

第30図の生育モデルを用い、除草剤を連用する圃場におけるクログワイの発生株数と連用1年目の地上部指数の大きさとを組み合わせを変化させ、連用5年間をシミュレートした。クログワイの発生株数は、除草剤を連用する圃場において除草剤を無施用とした場合の除草剤連用1年目における塊茎形成期のm<sup>2</sup>当りクログワイ株数で表した。

第32図は、シミュレーション結果をもとに除草剤連用下におけるクログワイの地上部生育量の動向について整理したものである。除草剤連用下における地上部生育の程度は、連用1年目の地上部指数別で見た場合、除草剤の連用年次が進むほどクログワイの発生株数



第34図 除草剤連用下における雑草害の発生予測図

- 注) 1. 除草剤連用2～5年目における塊茎形成期の地上部生育量が、クログワイの生育許容限界と一致する場合の除草剤連用1年目の地上部指数とクログワイ発生株数との関係を示す。
2. ——— : 生育許容限界が水稲収量に影響しない場合。  
 ——— : 生育許容限界が水稲収量を無雑草区対比95%とする場合。
3. 実線に添えた数字は除草剤連用年数を示す。
4. 生育許容限界は第17表, 地上部指数は式1, 地上部生育量は式3に準ずる。
5. クログワイ発生株数は第32図に準ずる。

間における変動が小さくなり、除草剤連用5年目には、それぞれ一定の地上部生育量にほぼ収束した。

次に第33図は、第32図において除草剤連用3年目でほぼ収束した地上部生育量と除草剤連用1年目の地上部指数との関係について、試験Ⅰ、ⅡおよびⅢの実測値とシミュレーション結果の比較を行ったものである。実測値の動向は、変動巾がやや大きいものの、除草剤連用1年目の地上部指数が大きくなるほど除草剤連用3年目の地上部生育量が大きくなるシミュレーション結果とほぼ同様の傾向を示した。このように除草剤連用下における地上部生育量は、連用1年目の地上部指数に応じて収束していた(第32図)。

### 3. 除草剤連用下における水稲への雑草害の予測

第33図から、除草剤連用3年目の地上部生育量が前節で検討したクログワイの生育許容限界(第33図, 縦軸のa, b)と一致する(連用3年目において水稲への雑草害が発生する)場合の連用1年目の地上部指数を求めることができる。第34図は、第33図で明らかになった連用1年目の地上部指数と雑草害の発生との関係を、シミュレーション結果をもとに連用年次および連用圃場におけるクログワイの発生株数について整理したものである。この図は、連用1年目の地上部指数が連用年次別の太実線以上なら、その除草剤連用年次において水稲収量に影響する何らかの雑草害が考えられる。さらに細実線以上の場合には無雑草区対比5%以上の減収が生ずることを示している。除草剤連用2年目では、生育許容限界を示す地上部指数が連用2年目の発生株数の値によって大きく異なり、3年目以降はこの差が小さくなることが伺える。例えば地上部指数が20となる除草剤を用い連年施用を開始したとすると、クログワイ発生密度166株/㎡以上の圃場において連用2年目で水稲収量に影響する雑草害が発生する。しかし、連用3年目以降ではクログワイ発生密度にほぼ関係なく水稲収量に影響する雑草害が発生しないことになる。また地上部指数が30となる除草剤を用い連年施用を開始したとすると、クログワイ発生密度169株/㎡以上の圃場において連用2年目で、同277株/㎡以上の圃場において連用3年目で水稲の収量減が5%以上となる雑草害が発生する。しかし、連用4年目以降ではクログワイ発生密度にほぼ関係なく減収が5%以上となる雑草害が発生しないことになる。

### 考 察

除草剤連用下におけるクログワイの生育過程をモデル化したが、シミュレーションの結果は、㎡当り株数、平均草丈、地上部生育量、地上部指数および新塊茎数において実測値とほぼ一致した。ところが、旧塊茎数では実測値と一致しない場合が多く見られた(第31図, 第20表)。旧塊茎数の場合は、旧塊茎とフィードバック・ループの関係にある㎡当り株数、平均草丈および新塊茎数の連年動向において実測値がシミュレーションの結果を正確に反映していたこと(第31図, 第20表)から判断して、モデルの構造に問題があるのではなく、第18表に示した新塊茎の生存率、旧塊茎の枯死率および旧塊茎の萌芽率を求める(6), (7)の式および(2)の定数に問題があると推察された。この点の改善については、今後の研究の課題としたい。また当モデルの妥当性は、除草剤連用3年目のクログワイ地上部生育量と除草剤連用1年目の地上部指数との関係についての実測値とシミュレーション結果の比較(第33図)からも明らかになった。そして生育モデルの普遍性は、モデル作成に使用したのとは異なる試験年次および異なる薬剤を供試した試験に生育モデルを当てはめた結果、㎡当り株数、平均草丈、地上部生育量、地上部指数および新塊茎数を正確にシミュレートできたこと(第31図)から示唆されていると考えられた。

次に、クログワイの発生株数と除草剤連用1年目の地上部指数の大きさとの組み合わせを変化させたシミュレーション結果から、除草剤連用下におけるクログワイの地上部生育量は、除草剤の連用年次が進むにつれ、殺草効果を示すところの除草剤連用1年目の地上部指数に応じた地上部生育量に収束することが明らかになった(第32図)。このことは第33図から裏付けされると判断され、同一除草剤の連年施用下におけるクログワイの生育動向は、連用1年目の地上部指数から予測できると考えられた。しかし、除草剤処理法又は除草効果が除草剤連用年次間で異なる場合、除草剤連用1年目の地上部指数による予測には無理があり、第23、24図の様な除草剤連用年次間における地上部指数の直接比較が有効と思われた。

さらに、除草剤連用1年目の地上部指数から、除草剤の連年施用下における雑草害の発生をクログワイの発生密度に応じて予測できると考えられた(第34図)。従来、クログワイ対象除草剤の連年施用試験における防除目標としては、クログワイの生育量を連年で減少させる除草剤連用2、3年目の地上部指数が用いられてきた。しかし、連用2、3年目の地上部指数は、除草剤無処理区の地上部生育量が連用年次間で変化する場合があるため、除草剤およびその処理法の実際的な殺草力を示しているものではない。しかも連用試験開始から2、3年後にしか結論が出ないと云う短所があった。以上のことより、第34図から求められるクログワイ発生株数との関係で見た連用1年目の地上部指数は、除草剤およびその処理法の実際的な殺草力を示し、雑草害の発生を早期に、そして的確に予測できると考えられる。したがって同指数は、今後のクログワイ対象除草剤試験における雑草害を念頭においた除草効果の判定の一つの基準として使用できると判断された。例えば、水稲の収量に影響する雑草害が、除草剤連用3年目以降において発生させないようにするには、地上部指数20となる除草剤の効果が必要になると考えられた。また、水稲の減収が5%以上となる雑草害が除草剤連用4年目以降において発生させない様にするには、地上部指数30となる除草剤の効果が必要になると考えられた。両者とも連用2年目および連用2、3年目において、それぞれの雑草害の発生が予想されるが、その場合のクログワイの発生株数は現地<sup>43)</sup>の除草剤無処理区と比較してもかなり多く、両水準は除草剤連用2年目からほぼ適用可能と考えられた。

本生育モデルでは、薬剤間における除草効果の差異およびクログワイ個体群間における除草効果の変異<sup>40)</sup>が、クログワイの地上部生育と塊茎の形成および生存との関係に及ぼす影響については考慮されていない。今後は、薬剤間並びに個体群間における除草効果を詳細に比較検討し得るモデルの開発が必要であり、そのためには、根茎の形成とこれに続く塊茎の形成のモデル化がまず必要となると考えられる。

除草剤連用下におけるクログワイの地上部生育と塊茎の形成および生存との関係をシステム・ダイナミックスの手法でモデル化した。クログワイの発生密度と除草剤の殺草力との組み合わせを変化させ、除草剤連用下におけるクログワイ生育過程について生育モデルによるシミュレーションを行った。その結果、以下のことが明らかになった。

1. モデル策定に用いたのとは異なる圃場試験にモデルを適用したところ、シミュレーション結果は実測値とほぼ一致した。
2. クログワイの地上部生育量が、除草剤連用下において除草剤連用1年目の地上部指数に応じ一定の値に収束することがシミュレーション結果から明らかになった。
3. 除草剤連用下における雑草害の程度は、発生株数と関連した除草剤連用1年目におけるクログワイの地上部指数(除草剤の殺草力)から予測できることが、シミュレーション結果により明らかになった。

## 第4章 除草剤連年施用の効果の確認と普及における問題点

### 第1節 現地試験による効果の確認

クログワイへの除草剤連用の効果は第2章のとおり場内試験で確認され、雑草害を念頭においた防除効果の判定の一つの基準が第3章において設定された。

一方、技術の普及には、現地における効果の確認が必要である。そこで、実証展示の圃場をクログワイが問題となっている現地に設け、除草剤の連年施用の効果について検討した。また、連用4、5年目の除草効果を、第30図の生育モデルを用いて予測した。

### 材料および方法

#### 1. 除草剤の処理法と耕種概要

除草剤の処理法を第21表に示したが、除草剤の3年連用試験は、1988年から1990年の試験IVと1989年から1990年の試験Vの2試験に分け、クログワイが自然発生する奈良県生駒郡斑鳩町稲葉車瀬の12aと10aの水田2筆で実施した(第35、36図)。現地圃場に発生するクログワイは、小林による分類<sup>24)</sup>と比較して水田群と判断した。しかし、奈良県農業試験場16号水田に発生するもの(奈良群)に比較して、草丈および塊茎がやや大きいクログワイであった。

水稲品種「アスカミノリ」を6月20日前後に移植し、中干しは7月20日前後から1週間実施し、秋の落水は9月25日頃、そして収穫は10月20日前後に行った。窒素成分で、基肥7~8kg/10a、穂肥3~4kg/10aを施用した。

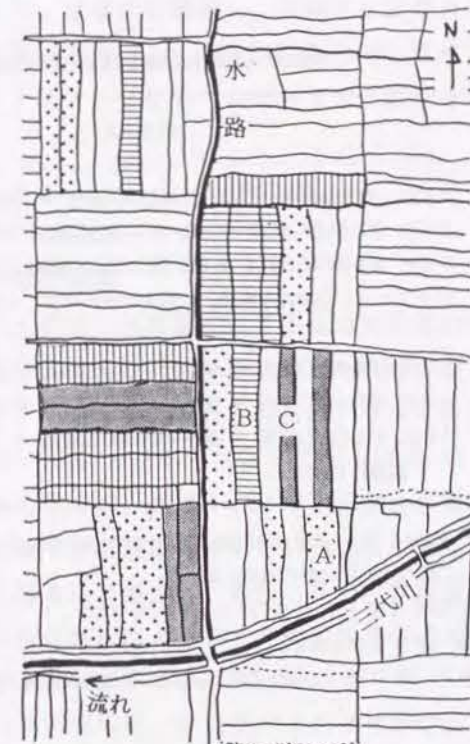
#### 2. 調査方法

地上部の調査は、各々の体系処理区の30㎡および無処理区6㎡についてクログワイ全株数と最長株10株の草丈を除草剤連用3年間とも9月5日前後に測定した。

地上部指数についてのシミュレーションの実行は、第30図のモデルを用い、連用1年目の除草剤処理区の株数、平均草丈および地上部指数の実測値、そして第3章第1節の無処理区の値より推定した新旧塊茎数を初期値として入力して行った。

#### 3. 現地の概要(奈良県生駒郡斑鳩町稲葉車瀬)

第36図にクログワイの発生状況を示したが、三代川の改修で作られた圃場(三代川の北側)に特に多かった。分布は水路に添って北から南に多くなった。圃場Cでは発生が多す



第35図 稲葉車瀬におけるクログワイの発生状況

注) 1. 調査は、1987年10月に実施した。

2. ㎡当りのクログワイ発生株数

|   |         |   |        |
|---|---------|---|--------|
| □ | : 0     | ⋯ | : 30以下 |
|   | : 30~60 | ■ | : 60以上 |



第36図 現地における水稲中干し期のクログワイ防除

第21表 現地実証圃場の除草剤処理法

| 試験区分                | 試験区      | 処理方法   | 面積               |
|---------------------|----------|--|------------------|
| 試験IV<br>(1988~1990) | (1)体系処理区 | 1年目 MS-256粒剤 → BAS-3510(Na)ⓐ液剤 → BAS-3510(Na)ⓐ液剤<br>2年目 DPX-84TDⓐ粒剤 → BAS-3510(Na)ⓐ液剤 → BAS-3510(Na)ⓐ液剤<br>3年目 DPX-84TDⓐ粒剤 → BAS-3510(Na)ⓐ液剤 → {BAS-3510(Na)ⓐ液剤} | 12 a             |
|                     | (2)無処理区  | ビラゾレート粒剤のみ処理。水稲内のクログワイは自然発生で放置   | 6 m <sup>2</sup> |
| 試験V<br>(1989~1991)  | (1)体系処理区 | 1年目 DPX-84Aⓐ粒剤 → BAS-3510(Na)ⓐ液剤 → BAS-3510(Na)ⓐ液剤<br>2年目 DPX-84Aⓐ粒剤 → BAS-3510(Na)ⓐ液剤 → BAS-3510(Na)ⓐ液剤<br>3年目 DPX-84Aⓐ粒剤 → BAS-3510(Na)ⓐ液剤 → {BAS-3510(Na)ⓐ液剤} | 10 a             |
|                     | (2)無処理区  | 試験IVに準ずる   | 6 m <sup>2</sup> |

注) 1. MS-256:ピラゾレート 6% + フタクリル 2.5% , BAS-3510(Na)ⓐ:ベンゾゲンNa塩40%, DPX-84TDⓐ:ベンズルフィンナリル0.17%+メチルセト3.5%+グイムン1.5%, DPX-84Aⓐ:ベンズルフィンナリル0.17%+ベンチカブ7.0%,ピラゾレート:ピラゾレート10%。  
2. {BAS-3510(Na)ⓐ液剤}は、スポット処理を表す。  
3. 水稲の移植は 6月20日前後で、SW-917およびDPX-84ⓐ混合剤の処理は移植後7日前後、BAS-3510(Na)ⓐは同35および47日前後。

第22表 クログワイ塊茎形成期の草丈、株数および地上部指数の推移

| 試験区分 | 平均草丈cm | 株数/m <sup>2</sup> |     |     | 地上部指数 |      |      |     |      |      |
|------|--------|-------------------|-----|-----|-------|------|------|-----|------|------|
|      |        | 1年目               | 2年目 | 3年目 | 1年目   | 2年目  | 3年目  |     |      |      |
| 試験IV | 無処理    | 93                | 107 | 92  | 26    | 33   | 13   |     |      |      |
|      | 処理     | 79                | 54  | 66  | 2.7   | 0.4  | 0.03 | 8.8 | 0.61 | 0.17 |
| 試験V  | 無処理    | 100               | 89  | 90  | 54    | 22   | 28   |     |      |      |
|      | 処理     | 46                | 43  | 43  | 5.9   | 0.07 | 0.03 | 5.0 | 0.15 | 0.05 |

注) 1. 地上部調査は9月 5日前後に実施。  
2. 試験IVは1988,89,90年, 同IIは1989,90,91年の結果。  
3. 地上部指数 = m<sup>2</sup>当り株数 × 平均草丈の対無処理区比。

ぎて休耕田となっていた。試験IVは圃場A, 試験Vは圃場Bに設置した。

慣行の防除法は、初期除草剤としてDPX-84ⓐ混合剤を使用しているが初期抑制のみのため、7月中旬から8月上旬にかけて2~3回の手取り除草を毎年併用していた。

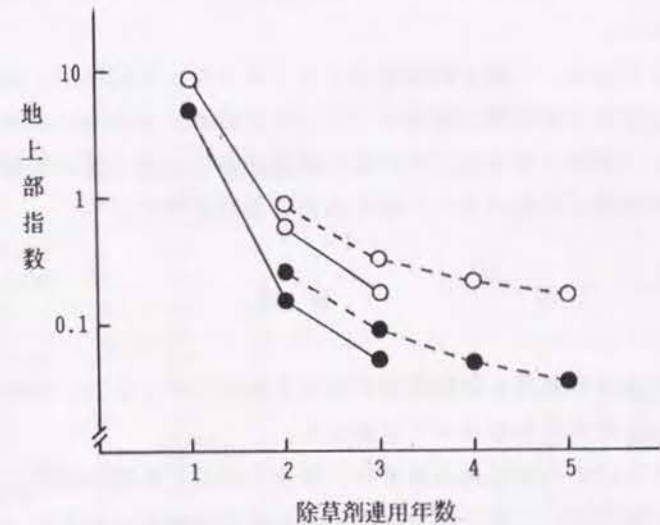
## 結果

### 1. クログワイの発生量の推移

第22表は、クログワイの地上部形質に対する除草剤処理の影響を連年で示したものである。無処理区における草丈は 89~107cmで3年とも大差はなく、草丈80~95cmの奈良群(第6表)に比較してやや大型であった。株数は、年次を経るほど増加する傾向(第6表)を示さず、試験IVで13~33株/m<sup>2</sup>そして試験Vで22~54株/m<sup>2</sup>であった。

除草剤処理区における草丈は、連用1, 2年と抑制されたが、試験IVでは連用3年目でわずかに高くなり、試験Vでは連用3年とも45cm前後であった。株数は、連用1年目から著しく抑制され年次を経るほど減少し、連用3年目では両試験とも 0.03株/m<sup>2</sup>まで減少した。地上部指数は、除草剤処理による草丈の伸長と株数の増加の抑制を反映して、著しく抑制され年次を経るほど更に小さくなった。

なお、本試験に用いた両圃場は、クログワイの発生が中程度で、地上部形質の調査場所



第37図 除草剤連用下における地上部指数の推移

注) 1. —: 実測値, ----: シミュレーション結果を示す。  
2. ○: 試験IV (1988-90), ●: 試験V (1988-91)の結果を示す。  
3. シミュレーションは第30図のモデルを用いた。  
4. 地上部指数は式3に準ずる。

における発生はほぼ均一と見られ、試験の遂行上に支障は無かったと思われた。

## 2. 連用4, 5年目の除草効果の予測

第30図のモデルを用い、除草剤連用5年間の地上部指数をシミュレートした。第37図は、地上部指数について連用3年間の実測値と連用2～5年目のシミュレーション結果を比較したものである。シミュレーション結果の推移は、連用2, 3年目において実測値の推移と同様の傾向を示した。しかし、連用2, 3年目においてシミュレーション結果が、両試験ともに実測値を上回った。第37図において予測された地上部指数は、連用4, 5年目で小さくなるが、連用3年目に比較して飛躍的に向上することはなかった。

## 考 察

除草剤の効果は、第1章第2節および第2章第1節と同様に、草丈の伸長と株数の増加の両者に相加的抑制として現われていた。除草剤の体系処理を3年間継続することにより、クログワイの発生株数を連用1年目の0.06～0.12%まで抑制することができ、現地圃場においても除草剤の3年連用の効果を十分に確認できたと判断された。一方、地上部指数の予測から、連用4年目以降の除草効果はさほど向上しないことが明らかになった。これらのことから、体系処理を3年連続した後は、クログワイに効果を示す除草剤の単用処理にバサグラン剤のスポット処理又は手取り除草を兼用して、本種の増殖の抑制に努めるのが良いと考えられた。

連用2, 3年目において地上部指数のシミュレーション結果が、両試験ともに実測値を上回った。これは地上部形質の調査が9月5日前後とシミュレーションの場合(9月20日前後)に比較して早かったため、その後の塊茎始期まで続く株の増殖<sup>61)</sup>が、シミュレーション結果と実測値との差になって現われたと推察された。

## 摘 要

除草剤の連年施用の効果を現地圃場において検討した。また、連用4, 5年目の除草効果を、第30図の生育モデルを用いて予測した。

1. 現地圃場においても除草剤の効果は、草丈の伸長と株数の増加の両者に相加的抑制として現われ、除草剤の3年連年施用の十分な効果を確認できた。
2. 連用4年目以降の除草効果は、さほど向上しないことが地上部指数の予測から明らかになった。
3. 以上より、体系処理を3年連続した後は、クログワイに効果を示す除草剤の単用処理にバサグラン剤のスポット処理又は手取り除草を兼用して、本種の増殖の抑制に努めるのが良いと考えられた。

## 第2節 クログワイにおける除草剤感受性の地域間の差異

クログワイに対する除草剤の効果が、地域によって若干異なる<sup>3・16)</sup>ことが知られている。クログワイに対する効果が確認されている除草剤を用い、クログワイ地上部生育と塊茎形成との関係における除草剤感受性の差異の程度を産地を異にする個体群間で比較した。

### 材料および方法

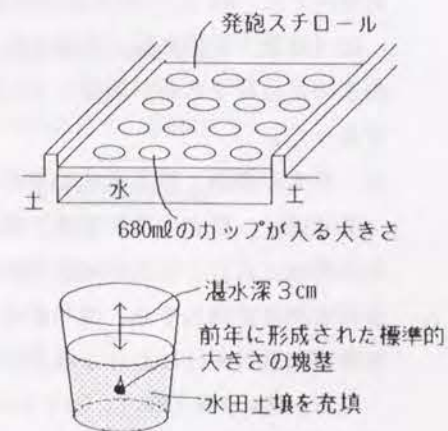
試験は、DPX-84<sup>①</sup>粒剤(ハンスルフロメチル 0.17%, 以下DP剤)およびNC-311粒剤(ピラザルフロニエチル 0.07%, 以下NC剤)を供試し、第23表の水田由来の14の個体群を用い1991年に実施した。

クログワイを埋め込む容器は、自生地における諸特性を十分再現できる<sup>30・34)</sup>ように容量680mlの透明プラスチック製カップとした。容器に奈良農試5号水田の土壌を充填し、深さ10cmの土層とした。前年に形成された標準的な大きさの塊茎をポット当たり1個ずつ土中に埋め込み、湛水深は3cmとした。水面に浮かせた発砲スチロール板を支持として塊茎を埋め込んだカップを水中に置床し、土壌温度の上昇を防いだ(第38図)。塊茎の置床と代かきは、奈良県平坦部の水稲普通期移植に準じた時期として、6月20日に行った。基肥は三要素成分量で各0.5kg/aを代かき時に、穂肥はチッソおよびカリ成分量各0.3kg/aを

第23表 供試クログワイの採取地および特性

| No | 採取地         | 草丈<br>(cm) | 塊茎重<br>(mg/個) | 塊茎形成<br>始期(日) |
|----|-------------|------------|---------------|---------------|
| 1  | 秋田県仙北郡協和町稲沢 | 23         | 240           | 57            |
| 2  | 秋田県南秋田郡五城目町 | 30         | 180           | 66            |
| 3  | 岩手県江差市八日市   | 36         | 480           | 54            |
| 4  | 茨城県筑波郡谷和原   | 27         | 210           | 66            |
| 5  | 東京都西多摩郡五日市町 | 27         | 260           | 67            |
| 6  | 滋賀県彦根市本庄町稲枝 | 37         | 340           | 76            |
| 7  | 大阪府羽曳野市尺度   | 31         | 410           | 80            |
| 8  | 島根県簸川郡斐川町   | 34         | 390           | 72            |
| 9  | 山口県阿武郡阿東町徳佐 | 32         | 250           | 76            |
| 10 | 宮崎県宮崎郡佐土原町  | 26         | 230           | 84            |
| 11 | 奈良県橿原市四条町   | 27         | 200           | 85            |
| 12 | 奈良県生駒郡斑鳩町   | 32         | 320           | 78            |
| 13 | 奈良県山辺郡都祁村   | 29         | 220           | 88            |
| 14 | 奈良県吉野郡下市町   | 23         | 170           | 89            |

注) 1. 草丈, 株数は無処理の数値。 2. Noは第27, 28図共通。  
3. 塊茎形成始期は、塊茎埋め込み(6月20日)後の日数で表示。



第38図 塊茎の埋め込みとカップの設置法  
注) 塊茎埋め込みは6月20日。

8月3日に、それぞれ施用した。

両除草剤は、クログワイ最長株の草丈が5cmとなる直前に製品量で300g/a処理した。処理は7月1日に行い、処理後2週間は雨よけハウスを設け、常時湛水とした。反復数は10とした。

塊茎形成をポットの底面から観察すると共に、9月20日に各試験区の全株の草丈を測定し、10月10日に根洗いし全株の塊茎数を数え、地上部生育と塊茎数との関係を検討した。塊茎形成始期は塊茎直径が5mmに達した時とし、全ポットの塊茎形成始期の平均値をその個体群の塊茎形成始期とした。

## 結果

### 1. 供試クログワイの特徴

第23表は、除草剤無処理区における草丈、一塊茎重および塊茎形成始期を示したものである。草丈は、No.2, 3, 6, 7, 8, 12で高く、No.1, 14で低く、一塊茎重は、No.3, 6, 7, 8, 12で重く、No.2, 14で軽かった。全般に草丈が高いと一塊茎重が重くなる傾向が見られた。しかし、No.2は、草丈が30cmと高いものの一塊茎重が180mgと軽くなるクログワイであった。

塊茎形成始期は、No.3で塊茎埋め込み後54日目（8月13日）と最も早く、No.14で最も遅く同89日目（9月17日）と35日間の違いが見られた。概して緯度の高い地域のクログワイで塊茎形成始期が早く、緯度が低くなると塊茎形成始期が遅くなる傾向が見られた。奈良県内では、No.12の塊茎形成始期が他の3群に比較してやや早かった。

No.4は第1章第2節で供試した谷和原群と同一で、No.11は奈良県農業試験場16号水田由来の奈良群である。両群ともに除草剤無処理区の塊茎形成始期は、前年までとほぼ同様であった。

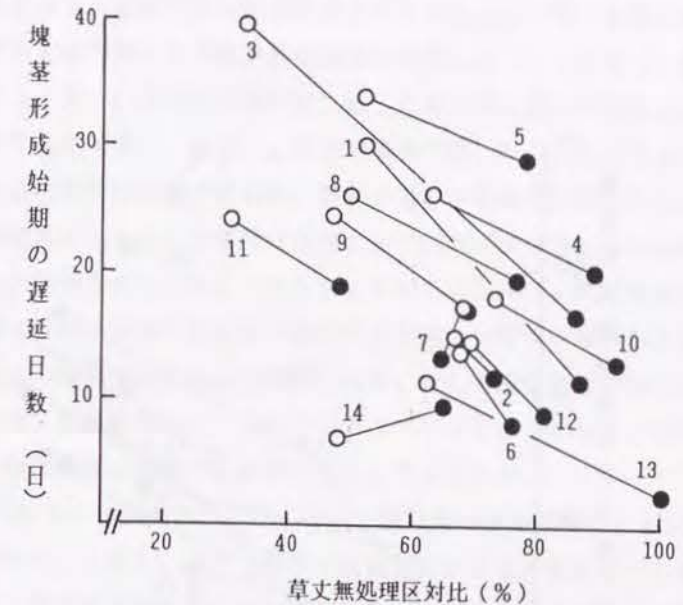
### 2. 草丈の抑制と塊茎形成始期の遅延

第39図は、草丈の抑制程度と塊茎形成始期の遅延日数との関係を示したものである。草丈の抑制に応じて塊茎形成始期が遅延するのは、14例中12例であった。しかし、草丈の抑制程度がほぼ同じでも、塊茎形成始期の遅延日数はクログワイ群間で異なり、No.2を除けば除草剤無処理区における塊茎形成始期の早いクログワイで遅延日数が概して長くなった。

なお、他の2例（No.7, 14）では、塊茎形成始期は遅延するものの草丈の抑制程度に応じて遅延しなかった。

### 3. 草丈の抑制と塊茎形成数との関係

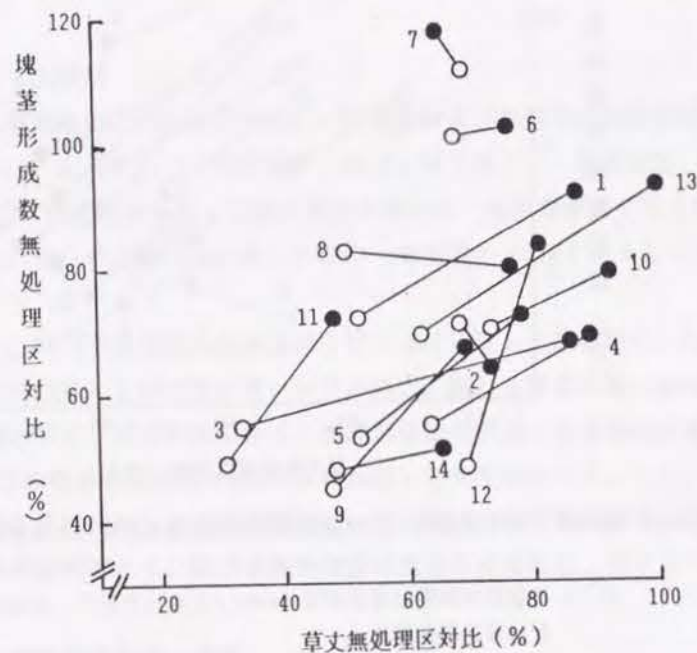
除草剤処理による草丈および塊茎形成数の抑制程度を第40図に示した。草丈が抑制されるほど塊茎形成数が抑制されるのは、14例中10例であった。しかし草丈の抑制程度がほぼ同じでも、塊茎形成数の抑制程度はクログワイ群間で大きく異なった。他の4例で



第39図 除草剤処理による塊茎形成始期の遅延に見られる変異 (1991年)

- 注) 1. 塊茎形成始期は塊茎直径5mm以上となった日で、遅延日数は無処理区対比。  
2. ○はNC剤処理、●はDP剤処理を示し、同じ個体群の両処理区を直線で結んだ。  
3. 図中の番号は、第21表のクログワイ個体群を示す。





第40図 除草剤処理による塊茎形成数の抑制に見られる変異 (1991年)

- 注) 1. 塊茎は、直径5mm以上のもの。  
 2. ○はNC剤処理，●はDP剤処理を示し、同じ個体群の両処理区を直線で結んだ。  
 3. 図中の番号は、第21表のクログワイ個体群を示す。

は、塊茎形成数が抑制されるものの草丈の抑制程度に応じて抑制されない (No.2, 8), 又は草丈が抑制されても塊茎形成数が抑制されなかった (No.6, 7)。

## 考察

クログワイの草丈が塊茎形成および塊茎の諸形質に影響することは、奈良農試16号水田由来および農研センター谷和原水田由来のクログワイについて第1章第2節で明らかにされた。ところが草丈を抑制しても塊茎形成始期が遅延しないクログワイ、塊茎形成数が減少しないクログワイおよび草丈の抑制程度に応じた塊茎形成数の抑制を示さないクログワイの存在が示唆された (第39, 40図)。松下や播磨<sup>2)</sup>は、No.7, 8のクログワイではDP剤およびNC剤の効果に年次間変動が見られ、効果の低い年があると報告している。No.6の採取地では、田畑輪換が行われ、水稲用除草剤としてSU剤が使用されているが、ほとんど効果が見られないと指摘されていた。これらのことから、No.2, 6, 7およびNo.8のクログワイでは、結論するには塊茎の仮比重や萌芽性など他の形質での検討も必要だが、除草剤の連年施用の効果の低い場合があると推察される。そして除草剤感受性の差異の原因の解明には、第2章第2節の結果から、これらのクログワイでの茎の形質と根茎における塊茎形成との関係を個体群間で検討する必要があると考えられた。

No.2, 6, 7, 8以外の10例のクログワイでは、除草剤の連年施用による抑制効果が期待できると推察された。しかし、各クログワイ個体群における水稲減収から見たクログワイ生育の許容限界を除草剤連用1年目の地上部指数から明らかにする (第34図)には、第3章第2節で検討したモデルの諸関係式の係数および定数項 (第18表) が各クログワイ個体群について適切に与えられるように再検討する必要があると考えられた。

## 摘要

クログワイ地上部生育と塊茎形成との関係における除草剤感受性の差異の程度を産地を異にする14の個体群で比較した。

1. 草丈が抑制されるほど塊茎形成始期が遅延するのは、14例中12例であった。
2. 草丈が抑制されるほど塊茎形成数が抑制されるのは、14例中10例であった。
3. 14例中10例では、除草剤の連年施用による抑制効果が期待できると推察された。

### 第3節 除草剤の散布法と散布所要時間

発生の著しく不齊なクログワイの防除には、クログワイに有効な初期剤でその生育を抑制し、中・後期剤の除草効果を高める体系処理の連年施用が有効である<sup>12)</sup>。初期剤としてはダイムロンやスルホニルウレア剤(SU剤)、中・後期剤としてはSU剤およびペンタゾン剤が有効である<sup>12, 43, 56, 57)</sup>。この技術普及における大きな障害として、除草剤の散布法の省力化が考えられる。そこで、除草剤の現地実証試験<sup>43, 44)</sup>から散布法と散布所要時間について調査した。

#### 調査方法

農家における除草剤散布時間の実態を知るため、関係の普及所と農家の協力を得て、第24表に示した2例の現地実証試験<sup>43, 44)</sup>を対象に調査した。粒剤の散布方法は、手散布、人力前掛散粒機(第41図)および背負形動力散布機であった。なお、背負形動力散布機は短程噴頭と組み合わせて使用した(第42図)。液剤の散布は、クログワイへの液剤の付着を考慮して背負形動力噴霧機を用い、すずらん5頭口と新広角山梨二頭口(第43図)の2噴頭の場合について調査した。調査は、農家が散布に要した時間、実散布量、散布巾および散布速度を測定し、吐出量を算出した。併せて除草剤処理上の問題点について聞き取りを実施した。クログワイの手取り除草については、奈良農試場内の除草剤連年施用試験における手取り除草区において調査し、第25表にその結果をあわせて示した。

#### 結果および考察

##### 1. 粒剤の散布

手散布は、10a当り20分前後を要し、除草剤散布の均一性に問題が見られた。農家において一般的に使用される人力前掛散粒機では10a当り10分前後の散布所要時間であったが、手を回しながらの歩行による疲労感が問題であった。

背負形動力散布機では、10a当り3~4分の散布所要時間と省力的で除草剤の均一散布性に優れていると見られた。動力散布機の重さ(除草剤を含めると約35kg)が問題との指摘があった。しかし、圃場の短辺が20m以下ならば、圃場に入らないで畦畔からの散布が可能のため、さほど疲労感はないようにも思えた。

##### 2. 液剤の散布

新広角山梨二頭口の場合は、10a当り14分前後の散布所要時間で10a当り60~65ℓの薬液を散布できた。この薬液量は、新広角山梨二頭口の場合、クログワイに充分量の薬液を付着できるものであった。すずらん5頭口の場合は、10a当り17分弱の散布所要時間で薬

第24表 調査した試験の概要

| 調査事例 | 場所  | 面積(短辺×長辺)                | 供試除草剤          | 散布方法              | 調査日   |
|------|-----|--------------------------|----------------|-------------------|-------|
| A 1  | 桜井市 | 10a(10m×100m)            | DPX-84BS①粒剤    | 背負形動力散布機+短程噴頭     | 6月25日 |
| A 2  | 桜井市 | 11a(11m×100m)            | NC-311BS①粒剤    | 背負形動力散布機+短程噴頭     | 6月25日 |
| A 3  | 桜井市 | 30a(30m×100m)            | DPX-84B①粒剤     | 背負形動力散布機+短程噴頭     | 6月25日 |
| A 4  | 桜井市 | 13a(13m×100m)            | DPX-84A①粒剤     | 人力前掛散粒機           | 6月25日 |
| A 5  | 桜井市 | 9a(9m×100m)              | DPX-84CG①粒剤    | 人力前掛散粒機           | 6月25日 |
| A 6  | 斑鳩町 | 3a(6m×50m)               | DPX-84A①粒剤     | 手散布               | 6月24日 |
| A 7  | 斑鳩町 | 3a(6m×50m)               | DPX-84TD①粒剤    | 手散布               | 6月24日 |
| A 8  | 斑鳩町 | 3a(6m×50m)               | BAS-3510(Na)液剤 | 背負形動力噴霧機+新広角山梨二頭口 | 7月18日 |
| A 9  | 斑鳩町 | 3a(6m×50m)               | 2.4PA・BAS水和剤   | 背負形動力噴霧機+新広角山梨二頭口 | 7月18日 |
| A10  | 斑鳩町 | 3a(6m×50m)               | BAS-3510(Na)液剤 | 背負形動力噴霧機+すずらん5頭口  | 8月1日  |
| A11  | 橿原市 | 18m <sup>2</sup> (2m×9m) |                | 手取り除草             | 7月31日 |

注) 1. 調査は、1990年に実施。 2. A1~A5<sup>43)</sup>およびA6~A10<sup>44)</sup>は、日本植物調節剤研究協会の依頼試験。A11は、除草剤の連用試験<sup>11, 22)</sup>の手取り除草区。 3. A11は、クログワイの発生17.2株/m<sup>2</sup>~660株/m<sup>2</sup>(平均290株/m<sup>2</sup>)。

第25表 散布法と散布の概要

| 調査事例 | 散布法      | 歩行速度     | 処理巾  | 吐出量               | 散布量       | 散布所要時間    | 問題点            |
|------|----------|----------|------|-------------------|-----------|-----------|----------------|
| A 1  | 短程噴頭     | 0.44m/秒  | 10m  | 0.74kg/分          | 2.8kg/10a | 3分47秒/10a | 動噴の重さ          |
| A 2  | 短程噴頭     | 0.43m/秒  | 10m  | 0.72kg            | 2.8kg     | 3分53秒     | 〃              |
| A 3  | 短程噴頭     | 0.52m/秒  | 10m  | 0.88kg            | 2.8kg     | 3分12秒     | 〃              |
| A 4  | 人力前掛散粒機  | 0.48m/秒  | 4m   | 0.40kg            | 3.5kg     | 8分46秒     | 疲労             |
| A 5  | 人力前掛散粒機  | 0.26m/秒  | 4m   | 0.13kg            | 2.0kg     | 15分52秒    | 〃              |
| A 6  | 手散布      | 0.30m/秒  | 3m   | 0.16kg            | 3.0kg     | 18分30秒    | 散布の不均一         |
| A 7  | 手散布      | 0.25m/秒  | 3m   | 0.14kg            | 3.1kg     | 22分10秒    | 〃              |
| A 8  | 新広角山梨二頭口 | 0.32m/秒  | 4m   | 5.0ℓ              | 65ℓ       | 13分       | 動噴の重さ          |
| A 9  | 新広角山梨二頭口 | 0.28m/秒  | 4m   | 4.0ℓ              | 60ℓ       | 14分53秒    | 〃              |
| A10  | すずらん5頭口  | 0.25m/秒  | 4m   | 1.8ℓ              | 30ℓ       | 16分40秒    | 〃, ドリフト, 散布量不足 |
| A11  | 手取り      | 0.037m/秒 | 0.9m | 2.0m <sup>2</sup> |           | 8時間20分    | 疲労, 所要時間       |

注) 1. 所要時間は、薬剤の調製および雑草の搬出時間を含まず。 2. A11は、クログワイ全面発生として試算。 3. A11の吐出量は、1分間の手取り面積を示す。



第41図  
人力前掛散粒機による散布



第42図  
背負形動力散布機（短程噴頭）  
による散布



第43図  
背負形動力噴霧機による散布

液を10a当り30ℓ散布できた。ところが、この薬液量では、充分量の薬液をクログワイに付着させることができなかつた。しかも、すずらん5頭口の場合は、薬液のドリフトが認められた。

例えば、クログワイに充分量の薬液を付着できるように散布液量を60ℓ/aと設定する。背負形動力噴霧機と新広角山梨二頭口との組み合わせは、同噴霧機とすずらん5頭口との組み合わせに比較して散布時間を15分程度短縮できると推察された。

液剤散布では、雑草を目で確認し雑草の発生している部分にのみ薬液を処理できる（スポット処理）ため、より省力化が可能と思われた。しかし、処理巾が4mと短かく圃場に入つての処理となるため、散布機の重さ（除草剤を含めると約30kg）が問題であった。

### 3. 手取り除草

1回の手取り除草に要する時間は、クログワイが全面発生（平均290株/m<sup>2</sup>）する圃場の場合、10a当り8時間20分と試算された。農家では、7月下旬から8月上旬に2～3回の手取り除草を行っている。手取り後、特に8月以降においてクログワイの再発生が多くなり、除草効果は余り期待できないようである。

### 4. 体系処理の所要時間

初期剤および中期剤ともに粒剤を処理する場合は、両剤ともに手散布ならば40分/10a、人力前掛散粒機ならば20分/10a、背負形動力散布機ならば8分/10aであった。

初期剤に粒剤を処理し、中・後期剤として液剤を背負形動力噴霧機（新広角山梨二頭口を使用）により2回処理する場合は、初期の粒剤処理を手散布とすれば48分/10a、人力前掛散粒機とすれば38分/10a、背負形動力散布機とすれば32分/10aであった。

除草剤の体系処理に要する時間は、除草剤の処理方法によって左右されるが、10a当り8～48分と判断された。手取り除草（16時間40分）の0.8～4.8%と非常に短縮され、梅雨から夏にかけての手取り除草の「苦しさ」からの解放の持つ意味は特に大きいと考える。

### 摘 要

除草剤の現地実証試験の結果から除草剤の散布時間について調査した。

1. 背負形動力散布機と短程噴頭の組み合わせは、10a当り3～4分で粒剤を均一に散布できた。
2. 背負形動力噴霧機と新広角山梨二頭口の組み合わせは、10a当り14分前後の散布時間で10a当り60～65ℓの薬液を散布でき、クログワイへの薬液の付着が良好であった。
3. クログワイの手取り除草に要する時間は、全面発生（平均290株/m<sup>2</sup>）する圃場の場合、10a当り8時間20分と試算された。
4. クログワイ防除のための除草剤体系処理に要する時間は、10a当り8～48分であった。

除草剤の連年施用の効果は、第2、3章に述べたとおり大きいですが、除草剤の散布回数の増加にともない諸経費もかさんでくる。そこで、クログワイ防除のための除草剤の連年施用の経済性について概算した。

クログワイの防除には、慣行の除草剤処理に加え新たな除草剤散布を1～2回実施する場合<sup>12)</sup>がある。そのための生産費の増加の例を第26表に示した。生産費の増加は、使用する除草剤の種類と回数に影響され、10a当り4600～6500円程度であった。これは、玄米単価266円/kg(平成2年度農産物生産費調査報告)とすれば、10a当り水稲玄米17～25kgに相当する。平年単収480kg/10aの奈良県の場合、3.5～5.2%の玄米の減収となった。つまりクログワイ防除の経済性から見た選択の一つの基準として、雑草害による水稲の減収が前述の水準に達した場合があげられる。これは、第3章第1節で明らかにした精糶重が無雑草区対比95%となるクログワイの生育許容限界とほぼ一致すると判断された。

第26表 クログワイ防除のための10アール当り生産費の増加

| 変動する生産費の項目 | 例1      |                         | 例2    |                          |
|------------|---------|-------------------------|-------|--------------------------|
| 原材料費       | MTS-1粒剤 | 424円/kg × 3kg = 1272円   | BAS液剤 | 4200円/ℓ × 1.4ℓ = 5880円   |
| (除草剤)      | BAS液剤   | 4200円/ℓ × 0.7ℓ = 2940円  |       |                          |
| 労働費        |         | 1372円/hr × 0.3hr = 412円 |       | 1372円/hr × 0.47hr = 645円 |
| 合計         |         | 4624円                   |       | 6525円                    |

注) 1. クログワイのための除草剤の処理体系は、例1: MTS-1粒剤(+4) + DPX-84A(○)粒剤(+20) + BAS液剤(+40)、例2: DPX-84A(○)粒剤(+7) + BAS液剤(+31) + BAS液剤(+45)とした。  
 2. 慣行の除草剤処理は、DPX-84A(○)粒剤(+7)とした。 3. 労働費は、平成2年産農産物生産費調査報告より。  
 4. 除草剤単価は、奈良県の一般的流通価格。 5. 散布時間は、第22表による。

摘要

除草剤の連年施用の経済性について概算した。

- クログワイの除草剤防除による生産費の増加は、10a当り4600～6500円程度で、水稲玄米17～25kgに相当した。
- 経済性から見たクログワイ防除選択の基準は、精糶重が無雑草区対比95%となるクログワイの生育許容限界とほぼ一致すると判断された。

本研究では、クログワイの地上部生育と土中における塊茎の動態との関係を塊茎の掘り取り調査をもとに実験的に調べ、それらの関係をモデル化した。そして、モデルを用いてシミュレーションを行い、除草剤の連年施用下におけるクログワイの地上部生育の動態の予測から効果的な防除目標の策定を試みたものである。本研究の内容は、次の4点に集約される。

- クログワイの地上部生育程度の簡易な判定法が、塊茎の動態と緊密に関係する指標として策定されている。
  - 本研究で検討された塊茎の動態とは、塊茎の形成、生存と枯死および萌芽で、これらがクログワイの地上部生育程度との関係から解明されている。
  - そしてクログワイの生育過程のシミュレーション・モデルが本研究の結論を導くために作成され、クログワイ地上部生育の連年動向から見た効果的な防除目標がシミュレーション結果から提示されている。
  - 最後に、現地における実証試験から連年施用の効果の確認と普及の可能性についての検討がなされている。
- 本章では、今後どのような研究が必要であるかを含め論点別に総括的な考察を行う。

1. クログワイ地上部生育の判定指標

クログワイの地上部生育の判定指標は、塊茎動態との関係を量的・質的両面から長期にわたり追跡、解明するために、そして雑草害を診断するために使用される。そこで、判定指標は次のような条件を具備すべきと考える。

- 塊茎の動態に緊密に関係する地上部形質である。
- クログワイの地上部生育量を示す普遍的な形質で、雑草害診断の判定指標である。
- 除草剤によるクログワイの地上部生育の抑制程度を判定する指標である。
- 測定が簡便である。
- クログワイの地上部を抜き取ることなく調査できる。
- 各地のクログワイ並びに各種除草剤を処理した場合にも適用できる。

クログワイの地上部生育の判定指標としては地上部生育量(式3)を用い、地上部生育の抑制程度の判定指標としては地上部指数(式1)を用いた。これらの指標は、クログワイの㎡当り株数と平均草丈との積を基礎としている。これらの指標が塊茎の動態を間接的に表す有効な指標となる主な原因は、第1章の結果より以下のように考えられた。

まず、根茎における塊茎の形成は平均茎長の影響を強く受けた。また茎長は、塊茎の土中深度を支配する根茎長と強く関係し、根茎長は塊茎直径および塊茎生体重に強く影響していた。さらに茎長と茎基部の太さの抑制は、塊茎形成始期を遅らせ塊茎の萌芽の斉一化に関与し、同化産物の減少も加わって塊茎の萌芽率に影響する仮比重を低下させるためと推察された。そして除草剤がクログワイの株数増加と草丈伸長の両者に相加的抑制効果を及ぼすためと判断された。㎡当り株数と平均草丈を用いればクログワイの生育を速やかに診断でき、調査対象を抜き取ることなく連続して試験区を観察できる長所を有していると判断された。

一方、千坂<sup>13)</sup>は、雑草害を雑草の重量と作物の重量との関係から診断し、雑草量は雑草の発生密度で最終的に表示されなければならないとしている。雑草量を重量で表示すれば水稲と雑草との関係に各種条件によって生じる変動を捨象でき幅広い条件下で雑草害の診断が可能となる。そして雑草の個体重の動きから雑草重量を本数に換算することにより、実用上の問題点を克服しようとしている。本研究では、クログワイの生育量を示す地上部形質として地上部生育量(クログワイの㎡当り株数と平均草丈の積)を使用した。地上部生育量は、雑草の種類をクログワイに限定すれば、栽培年度によって水稲とクログワイとの地上部生育の量的関係に生じる変動をかなりな程度に捨象できると判断された。今後は、水稲の栽植密度、水稲作期および施肥法等の栽培条件によって生じる変動について捨象できるかを検討しなければならない。この場合、水稲とクログワイの競争関係を水稲収量の減収から説明するだけでなく、水稲の栽培条件の変化がクログワイの塊茎動態に及ぼす影響についても同様に検討する必要があると考えられる。

水稲とクログワイの競争関係をクログワイの地上部生育量を用いて解析できれば、地上部生育量を水稲の生育時期別のクログワイの㎡当り株数と平均草丈の形に分けて表示することができ、水稲生育の早い時期から雑草害を予測できる。つまり除草剤の処理時期と一致した生育時期別の雑草許容限界を具体的な数値として明らかにできる。このことにより、雑草生育量に応じた除草剤処理の選択およびそれに伴う低薬量化等が期待でき、クログワイ防除のための除草剤散布を農家へ推奨する場合その意義は特に大きいと考えられた。

以上から、㎡当り株数と平均草丈は、地上部生育の判定指標が具備すべき条件①～⑤を満足していると判断された。しかし、調査株数が多い場合や除草剤処理区で株が叢生する場合に株数の計測がやや困難に思えた。茎における根茎の形成および根茎における塊茎の形成等は、茎長の影響を強く受ける。このことが、クログワイ地上部生育の判定指標の決定において重要な要因であることは明白である。今後、指標の精度向上のためには、茎の出現順序(葉序)と根茎および塊茎の形成との関係を再調査し、茎長の代表値の取り方を再検討する必要があると考えられた。判定指標は、スルホニルウレア系除草剤およびペンタゾン剤等を処理した場合は問題なく使用でき、除草効果がクログワイの株数と草丈の抑制として現われる除草剤すべてに適用できると判断された。

## 2. クログワイ個体群の動態と除草剤連用の効果

クログワイ地上部生育の判定指標を用い、クログワイ個体群の動態を検討した。塊茎の動態は、塊茎の形成、生存と枯死および萌芽で、地上部の生育量には地上部生育量を用い地上部生育の抑制程度には地上部指数を用い表示した。クログワイの増殖は、主に塊茎による<sup>14)</sup>。塊茎には、前年の秋期に形成された塊茎と前年以前の秋期に形成され生存しているものが含まれる<sup>15)</sup>。塊茎は、すべて萌芽するのではなく未萌芽で生存するもの、萌芽後環境条件により休眠に入るものなどがある。除草剤による地上部生育の抑制下における塊茎の形成、生存と枯死および萌芽の解明が、除草剤の連用における除草効果の動向の検討からも重要な課題であった。

前述したとおり、除草剤の影響は、クログワイの株数増加と草丈伸長の両者に相加的抑制効果として現われ、根茎における塊茎の形成は平均茎長の影響を強く受けた。他の塊茎形質である塊茎直径、塊茎生体重および塊茎形成始期の遅延等への茎長の影響も明らかになった。そして塊茎の生存率および萌芽率が、クログワイの地上部生育の抑制程度に応じて低下した。低下の原因は、新塊茎と旧塊茎の場合で異なることが明らかになった。新塊茎の場合では塊茎の形成過程における地上部の生育抑制による仮比重の低下が大きな要因と考えられた。旧塊茎の場合では、塊茎から萌芽した地上部が、除草剤の処理によりダメージを受けて塊茎の養分をさらに消耗するためであると推測された。一方、除草剤連用下におけるクログワイ地上部生育の動態については、萌芽塊茎数と塊茎形成期における株数との関係および同株数と平均草丈との関係が検討され、それぞれの関係式が求められた。クログワイの個体群動態は、除草剤連用下において次のように理解された。クログワイの地上部生育の抑制、つまり株数の増加と平均草丈伸長の相加的抑制が塊茎数やその諸形質を低下させ、これがさらに次年度における萌芽塊茎数に影響し、塊茎の表層分布や萌芽の斉一化が次年度のクログワイの地上部生育をさらに抑制するフィードバック・ループとして説明されると考えられた。

しかし、クログワイの個体群動態が解明されたとしても、土中における総塊茎数を除草剤処理により減少させ次年度の地上部生育量を前年に比較して抑制し、除草剤連用により雑草害を発生させないようにするという問題は簡単に解決できない。つまり、クログワイの塊茎形成と翌年の地上部増殖の相加的スピードに対しどの程度まで地上部生育を抑制すれば前述の命題が解決されるかという答えは、クログワイの個体群動態の解明の結果からだけでは求められないと考えられた。これらの命題を解決するには、クログワイの塊茎形成と地上部増殖の相加的スピードに規制される次年度におけるクログワイの地上部生育量の動向を予測できるように、クログワイの個体群動態のモデル化とシミュレーションというシステム生態学的手法の導入<sup>16)</sup>が必要と判断された。

本研究で明らかになったクログワイの個体群動態は、水稲生育との関係を含んでいない。実際圃場では種々の栽培様式で水稲が作付けされている。今後、モデルの汎用化のために

は、水稻の栽植密度、水稻作期および施肥法等による水稻生育量と生育相の変化が、クログワイの個体群動態に及ぼす影響についての検討が必要と考えられた。

### 3. クログワイ個体群動態のモデル化と効果的な防除目標

雑草害の診断法は、水稻がいくら減収するかを、できるだけ早い時期に予測することである。1作付年次の雑草の害だけでなく、さらに雑草の増殖率の考えを入れ、次年度の発生量をも予測することができれば、必要にして最低しかも最も経済的な除草法の設計が可能となる<sup>19)</sup>。

本研究では、まず除草剤の連年施用下におけるクログワイ地上部の生育と塊茎の形成およびその生存との関係を量的・質的両面から追跡解明した。そして、一連の試験結果をより大きなシステム（クログワイの個体群動態）として体系化し、除草剤連用1年目の除草効果からクログワイ生育の連年動向を推測できるようにするには、クログワイの地上部生育と塊茎形成およびその生存との関係に存在するフィードバック・ループをモデル化する必要があると考えた。クログワイ塊茎の再生産の過程を数の流れとして表現するモデルを作成し、モデルを用いたシミュレーションによりクログワイ地上部の連年動向を明らかにした。同一除草剤の連年施用下における複数年次間で見た雑草害を念頭においた除草効果の判定の一つの基準（除草剤連用1年目の除草効果）を、地上部生育の連年動向のシミュレーション結果とクログワイの生育許容限界との関係から提示することができた。

連年施用に用いる除草剤の効果を地上部指数20とすれば、塊茎形成期におけるクログワイの発生密度が166株/m<sup>2</sup>以上となる圃場では除草剤連用2年目で水稻収量に影響する雑草害が発生するが、連用3年目以降では発生密度にほぼ関係なくすべての圃場で水稻収量に影響する雑草害を抑制できると判断された。発生密度166株/m<sup>2</sup>は、一般圃場ではかなり高密度の発生<sup>43)</sup>のため、この防除水準は除草剤連用2年目からすべての圃場でほぼ適用できると推察された。このように、クログワイの個体群動態から見た効果的な防除とは、1作付け年次における雑草の害だけを検討するのではなく、また除草剤の連年施用年次の当初における雑草害より、次年度以降の作付けにおいて雑草害を発生させないという防除の最小限の水準と定義されると判断された。

雑草生育の動向を対象としたシミュレーション・モデルの作成<sup>51, 52)</sup> および水田土壌中におけるイヌホタルイ種子数の減少傾向の予測<sup>60)</sup> はあるものの、本研究のように雑草の地上部生育の連年動向から見た防除の目標をシミュレーション・モデルを用いて設定した例は、見当たらないように思われる。次年度への増殖の仕組みを解明することができれば、システム生態学的手法を用い雑草の連年動向から見た防除目標の決定は可能と考えられた。雑草の発生量を皆無とするのではなく、雑草害の発生しない程度に雑草の発生量を連年で制御することができ、農業散布の適正化からもその意義は大きいと考えられた。

### 4. 連年施用の効果の確認と普及の可能性

クログワイが問題となっている現地の圃場において、除草剤の体系処理を同一圃場に3年間連用した。その結果、第1章第2節および第2章第1節と同様の高い効果が確認された。この技術の普及における大きな障害として、除草剤の散布法の省力化<sup>42)</sup>が指摘されているが、本研究では慣行の処理法に比較して省力的で効果の高い方法を明らかにすることができた。また、3年連用後の圃場管理についても一定の方向性を示すことができた。これらのことから、除草剤の体系処理の連年施用は、現場において十分に普及可能と判断された。この場合のクログワイの個体群動態から見た効果的な防除とは、1作付け年次における雑草の害だけを検討するのではなく、将来にわたって雑草害を発生させないという防除の最小限の水準と定義されている。このクログワイ防除の水準は、連年施用の経済性の検討から、水稻の減収が無雑草区対比で5%以上となる場合と判断された。そして、この場合に連年施用に用いる除草剤およびその処理法の効果は、地上部指数30となると推察された。

### 5. 今後の課題

本研究で指摘された問題点や改善点は、除草剤の効果におけるクログワイのクローン間変異の問題およびシミュレーション・モデルの改良に関することの2点に集約される。本項ではこの2点について総括的に検討する。

#### (1) 除草剤の効果におけるクログワイのクローン間変異

クログワイの防除上において特に重要な塊茎の生産性や大きさ、塊茎の土中深度に直接関係する根茎長および塊茎の萌芽性についてクローン間変異が報告され<sup>30, 31, 32, 54)</sup>、これらの諸形質における変異にも、クログワイが防除困難とされる原因があるのではないかと<sup>34)</sup>と推察されている。またオモダカについても同様の指摘がなされている<sup>53)</sup>。場内および現地試験の結果から、SU剤（スルホニルウレア系除草剤の総称）の体系処理およびSU剤とベンタゾン剤との体系処理は、出芽の不斉一性と発生土中深度が深いことに対処することができ、その効果は高いと判断された。また、萌芽性のクローン間の変異に対しては、クログワイの萌芽時期と除草剤の体系処理時期との関係を調整すれば、除草剤の体系処理の連年施用で十分に対応できると推察された。

他種では除草剤抵抗性生物型の報告<sup>33, 59)</sup>が数多くある。本研究で問題となるのは、地上部生育の抑制程度に応じて塊茎形成数が減少しない、もしくは塊茎形成始期の遅延が認められないものであった。これらについては、地上部生育の抑制下での茎における根茎の形成と根茎における塊茎の形成過程を茎の出現順序を手掛かりに詳細に検討する予定である。

## (2)シミュレーション・モデルの改良

本章では、クログワイ地上部生育の判定指標、クログワイの地上部生育と土中における塊茎の動態との関係の解明、それらの関係のモデル化と効果的な防除目標および連年施用の効果の確認と普及の可能性についての総括的考察を行った。また、除草剤の効果におけるクログワイのクローン間変異についても若干の考察を行った。その中で明らかになったシミュレーション・モデルの改善に関することは、次の3点に整理される。

- ①旧塊茎数を求めるための新塊茎の生存率および旧塊茎の枯死率と萌芽率の再検討。
- ②水稲の栽培環境の変化が、水稲の生育量とクログワイの個体群動態との関係に及ぼす影響の検討。
- ③クログワイの地上部生育の抑制下における茎での根茎の形成と根茎における塊茎の形成との関係の茎の出現順序を手掛かりにしたより詳細な検討。

①については、既存のデータを用いての再検討が可能と考えられる。②および③については新たな試験を必要とするが、まずクログワイの根茎と塊茎の形成との関係の詳細な検討が必要と考えられた。

## 総 合 摘 要

本研究では、除草剤連用下におけるクログワイの個体群動態を塊茎の掘り取り調査をもとに実験的に調べ、クログワイの地上部生育と土中における塊茎の動態との関係をシステム生態学的手法を用いモデル化した。そして、モデルを用いてシミュレーションを行い、除草剤の連年施用下におけるクログワイの地上部生育の動態の予測結果とクログワイの生育許容限界との関係から、効果的な防除目標の策定を試みたものである。主要な研究成果を要約すると以下の通りである。

1. クログワイの茎の出現順序は葉序に見られる3輪生と同様と推察され、塊茎を作るための根茎は茎の基部に形成された。根茎における塊茎の形成は平均茎長の影響を受け、茎長は塊茎の土中深度を支配する根茎長と正の相関関係にあるとともに、根茎が長いほど塊茎直径および塊茎生体重量が大きくなる傾向にあった。また、茎長と茎基部の太さの抑制は、塊茎形成始期を遅らせ、同化産物の減少も加わって塊茎の萌芽に影響する仮比重を低下させると推察された。
2. クログワイ地上部生育の抑制程度の判定指標としては、 $m^2$ 当り株数と平均草丈の積の対無処理区比(地上部指数)が有効であった。また、同地上部生育量の判定指標としては $m^2$ 当り株数と平均草丈の積(地上部生育量)が有効であった。両指標が塊茎の動態を間接的に表す有効な指標となる主な原因は第1章で明らかにされ、除草剤処理の影響がクログワイの株数増加と草丈伸長の抑制の両者に相加的に現われるためと判断された。さらに、地上部生育量は雑草の種類をクログワイに限定すれば、栽培年次によって水稲と雑草との関係に生じる変動をかなりな程度に捨象できると考えられた。
3. 除草剤連用下におけるクログワイの個体群動態は、次のように理解された。クログワイの地上部生育の抑制、つまり株数の増加と平均草丈伸長の相加的抑制が塊茎数やその諸形質を低下させた。これがさらに次年度における萌芽塊茎数に影響し、塊茎の表層分布や萌芽の斉一化が次年度のクログワイの地上部生育をさらに抑制するフィードバック・ループとして説明されると考えられた。
4. クログワイの個体群動態が解明されたとしても、除草剤処理により土中における総塊茎数を減少させ次年度の地上部生育量を前年に比較して抑制し、除草剤連用により雑草害を発生させないようにするという問題は簡単に解決できない。これらの命題を解決するには、クログワイの塊茎形成と地上部増殖の相加的スピードに規制される次年度におけるクログワイの地上部生育量の動向を予測できるように、クログワイの個体群動態のモデル化とシミュレーションというシステム生態学的手法の導入が必要と判断された。

5. クログワイ塊茎の再生産の過程を数の流れとして表現するシミュレーション・モデルを作成し、クログワイ地上部の連年動向を明らかにした。そして除草剤の連用下における複数年次間に見た雑草害を念頭においた除草効果の判定の一つの基準を、地上部生育の連年動向と雑草許容限界との関係から除草剤連用1年目の除草効果として提示することができた。連年施用に用いる除草剤の効果も地上部指数20とすれば、塊茎形成期におけるクログワイの発生密度が166株/㎡以上となる圃場では除草剤連用2年目で水稲収量に影響する雑草害が発生するが、連用3年目では発生密度にほぼ関係なく水稲収量に影響する雑草害を抑制できると判断された。

このように、クログワイの個体群動態から見た効果的な防除とは、1作付け年次における雑草の害だけを検討するのではなく、しかも除草剤の連年施用年次の当初における雑草害より、次年度以降の作付けにおいて雑草害を発生させないという防除の最小限の水準と定義されると判断された。

6. 除草剤の体系処理の連年施用は、現地において十分に普及可能と判断された。このクログワイ防除の水準は、連年施用の経済性の検討から水稲の減収が無雑草区対比で5%以上となる場合と判断された。この場合、連年施用に用いる除草剤およびその処理法の効果は、地上部指数30となると推察された。

7. 本研究で指摘された問題点や改善点は、除草剤の効果におけるクログワイのクローン間変異の問題およびシミュレーション・モデルの改良に関することの2点に集約された。これらの問題に対処するには、地上部生育の抑制下での茎における根茎の形成と根茎における塊茎の形成との関係について、茎の出現順序を手掛かりに詳細に検討する必要があると結論された。

## 引用文献

1. 千坂英雄 1966. 水稲と雑草の競合. 雑草研究 5, 16-22.
2. 張 暎熙・服部金次郎・草薙得一 1979. ウリカワおよびクログワイに対する数種除草剤の作用性について. 雑草研究 24(別), 87-88.
3. 中国農業試験場編 1992. 平成3年度近畿中国農業試験研究成績・計画概要集-作物生産・水稲-; 通し番号 220, 226, 227.
4. 原田二郎 1990. 日本および東南アジアにおける水田雑草防除をめぐる諸問題. 第23回農業科学シンポジウム講演要旨集, 13-27.
5. 本間豊邦・伊藤一幸・渡辺 泰 1981. クログワイ塊茎の萌芽特性について. 雑草研究 26(別), 53-54.
6. 堀江 武 1981. 気象と作物の光合成, 蒸散そして生長に関するシステム生態学的研究. 農技研報A 28, 1-181.
7. 船越安信・南保俊夫・江田貞文・榊原昌弘・日和佐和子・榎本裕司 1988. 水田雑草MT-128の作用性(第2報). 雑草研究 33(別), 51-52.
8. 井貝敬太郎・川幡 寛・佐合隆一 1992. 数種除草剤のクログワイに対する殺草特性. 雑草研究 37(別), 182-183.
9. 猪飼 隆・鈴木宏一・縄巻 勤・渡辺重臣・山本 進・佐藤敏明 1987. 新規水田除草剤NC-311の作用性に関する研究. 雑草研究 32(別), 29-30.
10. 池部達哉・重松昭二・鈴木利雄・山内三治 1978. 体系処理によるクログワイ防除試験(続報). 雑草研究 23(別), 59-61.
11. 稲村達也・渡辺英信・徳山博康 1989. 除草剤連用によるクログワイ塊茎の形成抑制. 近畿作育研究 34, 35-38.
12. 稲村達也 1989. 除草剤連用によるクログワイ徹底防除の可能性. 農及園 64(8), 945-950.
13. 稲村達也・江尻勝也 1991. クログワイ連続観察のための透視型根箱の作成. 雑草研究 36(別), 128-129.
14. 稲村達也 1992. 除草剤連用によるクログワイ地上部の生育抑制の判定指標と塊茎の形成. 雑草研究 37, 105-112.
15. 稲村達也 1992. 除草剤連用によるクログワイ地上部の生育抑制と塊茎の萌芽および生存との関係. 雑草研究 37, 113-120.
16. 稲村達也 1992. 除草剤処理によるクログワイ地上部の生育抑制と根茎および塊茎の形成との関係. 雑草研究 37, 204-212.
17. 稲村達也 1992. 水稲への雑草害から見たクログワイの生育許容限界. 雑草研究 37, 290-295.
18. 稲村達也 1992. クログワイの塊茎形成にみられる除草剤感受性の変異. 雑草研究 37(別),



- 120-121.
19. 伊藤一幸・渡辺 泰 1982. 地下水位の差異がクログワイの生育に及ぼす影響. 雑草研究 27 (別), 13-14.
  20. 伊藤一幸・宮原益次 1986. クログワイに対する除草剤連用の効果. 雑草研究 31 (別), 141-142.
  21. 伊藤一幸 1986. クログワイの防除について. 植調 20(20), 5-12.
  22. 伊藤一幸 1989. 水田雑草オモダカの生態と防除に関する研究. 雑草研究 34, 101-106.
  23. 伊藤夫仁 1968. クログワイの個生態とその雑草害について. 中国雑草防除研究 1, 75-79.
  24. 鴨居道明・宮下勇作・則武晃二・片岡孝義 1992. 水田多年生雑草クログワイの徹底防除法の確立 第1報. 雑草研究 37 (別), 178-179.
  25. 鴨居道明・宮下勇作・則武晃二・片岡孝義 1992. 水田多年生雑草クログワイの徹底防除法の確立 第2報. 雑草研究 37 (別), 180-181.
  26. 神名川真三郎・芝山秀次郎・渡辺寛明 1991. 数種除草剤がクログワイの生育, とくに基数及び発根数等に及ぼす影響. 雑草研究 36 (別), 34-35.
  27. 川延謹造・加藤泰正 1959. 畑作除草作業体系の確立に関する研究 第II報. 日作紀 28, 68-72.
  28. 小玉陽一 1980. BASICによるシステム・ダイナミックス. 共立出版, PP. 3-42.
  29. 小林央往・植木邦和 1977. クログワイ塊茎の生産と土中分布様式について. 雑草研究 22 (別), 114-116.
  30. 小林央往・富永 達・植木邦和 1979. クログワイ類の塊茎における変異について—形状と諸特性との関係—. 雑草研究 24 (別), 83-84.
  31. 小林央往・植木邦和 1980. クログワイの窒素反応におけるクローン間変異について. 雑草研究 25 (別), 89-90.
  32. 小林央往・植木邦和 1981. クログワイの変異とその諸特性. 雑草研究 26 (別), 51-52.
  33. 小林央往・植木邦和 1983. 除草剤抵抗性の遺伝・育種とその生態的側面. 深見順一・上杉康彦・石塚皓造編“薬剤抵抗性”, ソフトサイエンス社, 342-361.
  34. 小林央往 1984. 水田多年生雑草クログワイの生態と変異. 雑草研究 29, 1-15.
  35. 小西篤好 1828. 農業余話—草害—, 日本農書全集 7, 農文協, 249-250.
  36. 小山 豊・山岸 淳・穴倉豊光・深山政治・武市義雄 1986. 水田多年生雑草オモダカの生態とその防除 第1報. 千葉農試研報 27, 167-183.
  37. 草薙得一 1978. 水田の多年生雑草の生態とその防除. 日本農薬学会誌 3, 485-497.
  38. 草薙得一 1984. 水田多年生雑草の繁殖特性の解明と防除に関する研究. 雑草研究 29, 255-267.
  39. 宮原益次・高林 実 1982. ウリカワ, ミズガヤツリおよびクログワイの栄養繁殖器官からの出芽の年次消長. 雑草研究 27 (別), 15-16.
  40. 宮永正運 1789. 私家農業談—草修理—, 日本農書全集 6, 農文協, 62-63.
  41. 中川恭二郎 1965. 多年生雑草の個生態. 雑草研究 4, 42-47.
  42. 中川恭二郎・宮原益次 1967. ミズガヤツリとクログワイに対する数種除草剤の雑草処理における殺草性について. 雑草研究 6, 107-111.
  43. 奈良県農業試験場 1990. ベンタゾン剤による水田雑草防除の徹底防除に関する現地実証試験成績書. 1-4.
  44. 奈良県農業試験場 1990. 除草剤モデル圃場試験成績書. 1-3.
  45. 日本植物調節剤研究協会編 1987. 昭和62年度水稲除草剤適用性試験成績概要. 148-166.
  46. Noda, K., K. Ozawa and K. Ibaraki 1968. Studies on the damage to rice plants due to weed competition. Bull. Kyushu Agric. Exp. 13, 345-367.
  47. 小笠原 勝・鷺野方美・近内誠登・松居敏行 1991. ベンフレセートの作用特性とクログワイ防除効果. 雑草研究 36 (別), 30-31.
  48. 白井雄太・鈴木宏一・猪飼 隆 1984. 新規水田用除草剤NC-311の作用性に関する研究. 雑草研究 29 (別), 35-36.
  49. 鈴木穂積 1991. 水田雑草クログワイの病原菌による防除. 北陸農試報 33, 83-105.
  50. 鈴木計司・大塚一雄・塩原比佐雄・小川信太郎 1983. クログワイ塊茎の土中深度と薬剤の体系処理効果. 雑草研究 28 (別), 175-176.
  51. 高柳 繁 1991. 雑草害早期診断法開発のためのメヒシバとダイズ単植群落の成長・発育モデルの策定. 雑草研究 36, 372-379.
  52. 高柳 繁・草薙得一 1991. 雑草害早期診断法開発のためのメヒシバ・ダイズ混合群落の成長と光競争機構のシミュレーション. 雑草研究 36, 380-388.
  53. 徳山博康 1969. 多年生雑草クログワイの生態および防除について (予報). 近畿作育談話会報 14, 5-8.
  54. 富永 達・小林央往・植木邦和 1980. クログワイ塊茎の萌芽性におけるクローン間変異について. 雑草研究 25 (別), 91-92.
  55. 富田 誠・青木章彦・竹松哲夫 1991. JC-940のクログワイに対する作用性. 雑草研究 36 (別), 68-69.
  56. 土田邦夫・柴谷得郎・小沢哲男 1988. 水田多年生雑草の防除に関する研究 第1報. 雑草研究 33 (別), 83-84.
  57. 土田邦夫・柴谷得郎・小沢哲男 1988. 水田多年生雑草の防除に関する研究 第2報. 雑草研究 33 (別), 85-86.
  58. 植木邦和・中村安夫・小野誠一 1969. 多年生雑草クログワイの防除に関する基礎的研究 第1報. 雑草研究 8, 50-56.
  59. 植木邦和・山末祐二 1978. 雑草における除草剤感受性の種内変異と抵抗性発現. 日本農薬学会誌 3, 445-450.

60. 渡辺寛明・宮原益次・芝山秀次郎 1991. 水田土壤中におけるイヌホタルイ種子の生存状態と発生. 雑草研究 36, 362-371.
61. 山岸 淳・武市義雄 1978. 水田多年生雑草防除に関する研究 第VIII報. 千葉農試研報 19, 191-217.
62. 山岸 淳・武市義雄 1980. 水田多年生雑草防除に関する研究 第IX報. 千葉農試研報 21, 109-117.
63. Yamakawa, S., K. Ide, H. Kobayashi and K. Ueki 1987. Clonal variation in the effects of nitrogen applied mother plant on the sprouting behavior of tubers of arrowhead, *Sagittaria trifolia* L. Weed Res. Japan 32, 180-187.
64. 山内三治・池辺達哉・重松昭二・佐土原英雄・木村一郎 1977. 体系処理によるクログワイ防除試験. 雑草研究 22 (別), 86-88.