

〔農工研技報 214〕  
111～121, 2013〕

## 水稻減収尺度の策定のための実水田圃場内に 清水・濁水区を設けた模擬冠水試験

－試験手法の提案と生育概況調査－

皆川裕樹\* 増本隆夫\* 堀川直紀\* 吉田武郎\*  
工藤亮治\* 北川 巖\*\* 瑞慶村知佳\*\*

\* 水理工学研究領域水文水利担当

\*\* 農地基盤工学研究領域水田高度利用担当

キーワード：水稻，冠水被害，減収推定尺度，模擬冠水区，豪雨リスク

### I 緒言

豪雨や台風に伴う農地の冠水害は各地で発生しており、現在でも水稻の減収要因として大きな割合を占めている。その額は数十～数百億円にも上る年もあり、経済的な損失も大きいといえる。将来は気候変動の影響による豪雨の強大化が予想されていることから、様々な豪雨状況を想定した農業への影響評価は急務であり、ここでは災害の発生確率とともに経済的な視点も含めた定量的リスク評価が望まれる。ここで、水稻は災害発生時期や継続期間、冠水深、その他様々な要因により被害度合いが大きく異なる点の特徴であり、その被害量（減収量）を一律条件で算定するのは適切ではない。その算定には、様々な冠水条件と被害量の関係を明らかにした水稻の減収尺度の利用が有力である。一方この減収尺度は、逆の見方をすると、水稻の減収量がわずかである許容冠水条件を示すことにもなる。すなわち、その指標は、流域の水資源管理の中で、洪水対策として水田圃場や水田地域の持つ洪水緩和機能をいかに利活用するかを検討する上での貴重な資料となり、その際の便益の算定や住民説明にも利用できる。このように、減収尺度は様々なシーンでの利用が見込まれるが、いずれの場合にしても、実証試験等に基づいたより信頼性のある尺度を用いることが肝要である。

その尺度の代表的なものとしては、農作物被害調査資料5（農林省統計調査局，1948）を基に策定された水稻減収推定尺度（農林省農林経済局統計調査部，1957）があり、これが現在でも示されている（農業農村工学ハンドブック改訂七版本編p196にも掲載）。しかしこの尺度は、このまま被害量算定に積極的に利用するのは難しい。その大きな理由として、本尺度は冠水による水稻の損傷度合いを見積もったものであり、最終的な減収量を表すものではない点が挙げられる。さらに、水稻の冠水耐性は品種間でも差異があることから（例えば農林省宮

城統計調査事務所，1951；山田ら，1956），尺度策定当時から栽培品種が大きく異なる現在においてこれを基準として使用するには注意を要する。現行栽培品種の冠水被害調査事例は近年でも多くみられるものの（例えば水沢ら，2006），それらは一事例として報告されるのみである。被害量算定の基準とするにはこの尺度を収量からみたものに更新する必要がある。そのためには水稻環境を管理・制御できる人工的な冠水試験による実証が不可欠である。

さらに、これらの水稻減収尺度を策定する試験手法については、上述の文献等を含めその具体的な方法についての報告は見当たらず、湛水深、湛水時間、さらには濁水程度の設定に関し、どのような施設かつ条件での試験が行われたかがはっきりしていない。いずれも湛水試験が稲栽培用のポット試験等で行われたことが分かる程度である。また、中華人民共和国の武漢市にある農業試験研究機関には、湛水試験のための水稻栽培装置（コンクリート畦畔に囲まれた土壌面高さが異なる栽培ブロックの並び）が残されているが、稲栽培を通常に行いながら水管理を行って様々な湛水条件を発生させることができると想定できる。

そこで本研究では、最終目的である農業被害リスク評価手法の確立に必要な水稻減収尺度を得るための模擬冠水試験を試行錯誤で行っているが、その段階で湛水試験の方法として巨大な装置や複雑な水管理を必要とせず、通常的水稻栽培と水管理による実圃場を用いた簡易な模擬湛水試験手法を新たに考案したので、ここに報告する。なお、ここで計画した試験方法および試験区の設計の纏めや冠水試験による水稻の外部形態変化に注目した調査結果については他にも報告の機会を得ているが（皆川ら，印刷中），ここではその詳細を述べる。本試験では、試験区を実際的水稻栽培圃場内に設置することで大きな労力を伴う水管理を必要とせず、湛水や洪水発生など実際の災害状況下に近い状態で試験を行える点が最大の特徴

**Table 1** 模擬冠水試験を行う生育段階と条件  
Development stage of rice and other conditions for pseudo-flooding experiment

生育段階		分けつ期	穂ばらみ期		出穂期	成熟期
冠水状況		完全冠水	完全冠水	葉先露出	完全冠水	完全冠水
水の清濁	清水	○	○	○	○	○
	濁水	-	○	○	○	○

\*冠水期間は各条件で1日(24時間), 3日(72時間), 5日(120時間)の3通り

である。またこの試験区は、清水、濁水区に分かれており、2種類の濁度の異なる水で同時に試験を行えるよう独自に設計している。本報告では、この試験区を用いて実際に試験を行い、生育概況を調査した結果も示している。なお、試験は複数年継続して行うことでデータの蓄積を図り、すべての結果を総合的に判断して最終的な水稲減収尺度の策定を目指す。さらに、得られた尺度は農業被害度合いの算定に用いると同時に、どのような冠水条件で被害が少なく抑えられるのかを明らかにすることで、将来的には災害時に取るべき具体的な対応策の検討にも利用する。

## II 模擬冠水試験方法と試験条件

### 1 選定品種と栽培準備

試験には現在最も一般的に栽培されている品種を用いることとし、ここではコシヒカリを選定した。コシヒカリは作付面積シェアが昭和54年より連続1位となり、全国の総作付面積の36~38%程度と他品種に比べて圧倒的な割合を占めることから(イネ品種特性データベース検索システム, 2005)、現状で災害が発生した場合には相対的に最も被害を受けるリスクが高い品種と考えられる。

水稲は、1/5000aサイズのワグネルポット(藤原製作所製, 159φ×190 mm)を用いたポット栽培を行った。まず栽培前の準備として、ポットに水田の土を適量投入した。ここでは、土量の目安はポットの上端から5cm程度下までとした。土を入れた後は、代かきの代替作業として水を入れながらかき混ぜることで土中の空隙を無くし、水が漏れないようにした。また、苗を移植する前に基肥を投入した。ここでは茨城県農業総合センターによる普通作物栽培基準(2010)にある施肥基準を参照し、1ポットあたりの施肥量が10a当たり窒素(N) 4kg、リン酸(P) 8kg、カリウム(K) 8kgとなるようにした。苗は事前に苗床で発芽させ、ある程度育った段階でポットに移植した。本年の移植日は5月25日であり、苗は1ポットにつき3本ずつ移植した。

### 2 冠水試験の条件設定

実際に水稲が冠水した場合には、冠水した時期や継続期間の他に、流速、水温、水の濁りなど様々な要因が関係するとされ、それらの影響が複合的に表れるためすべ

てを完全に把握することは困難である。よってここでは①水稲の生育段階(試験時期)、②冠水状況(完全冠水か葉先露出か)、③水の清濁、④冠水期間の4つの項目に注目し、試験条件を分類する。冠水中の水は停滞していると仮定して流速は考えないこととし、水温については試験中に観測することでその状況を把握する。

試験条件の一覧をTable 1に示す。移植後の水稲の生育段階は大きく分けつ期、幼穂発育期、登熟期と分別され、成熟期を迎えて収穫される。幼穂発育期は、さらに出穂が近づき葉しょうがふくれる穂ばらみ期と、全体の40~50%程度の茎から穂が出た状態である出穂期に分類できる(堀江, 2004)。試験を行う生育段階は自由に選択できるが、ここでは既存の水稲減収推定尺度を参考にし、分けつ期、穂ばらみ期、出穂期、成熟期の4通りとした。実際に試験を行う時期は、水稲の生育状況を観察しながら判断する。冠水状況は植物体全体を水面の下にする完全冠水を基本とするが、特に被害を受けやすいと報告されている穂ばらみ期では、葉先の一部(10~15cm程度)が水面より露出した場合の影響も見る。また、豪雨時には土砂を含む濁度の高い水が河川・水路を流れることから、水田に湛水する水も濁度が高い場合が多いと考えられる。そこで分けつ期を除く各時期では、冠水させる水の状態を濁りの少ない清水(通常の水田用水)と濁度の高い濁水に分け、両者の被害度合いの違いを確認することとした。そのため、本試験では冠水させる区画を2つに区切り、その片方には濁水を発生させる工夫を行っている(III 3参照)。冠水日数は各条件で1日、3日、5日の3通りとし、これにより全部で27通りの条件が設定された。試験は、1条件につき3反復で行った。さらに結果の比較用として、無冠水で通常栽培のみを行う対照区を15ポット用意した。これに予備のポットを加えた結果、使用ポット数は合計で105個となった。

### 3 模擬冠水試験の手順と観測項目

模擬冠水試験は以下の手順で行った。まず、苗を移植したポットを試験時期が来るまで通常の水田同様の状態で栽培した。設定した生育段階になると、ポットごと水深の深い区画に移動させ決められた条件下におき、一定期間冠水させる。冠水期間が終了するとポットを取り出し、再び通常栽培状態に戻す。試験終了後はそのまま栽培を続け、最終的に収穫する。なお、試験は各ポットで1回のみとし、冠水状態から引き揚げた後は特別な被害

**Table 2** 栽培期間中の観測項目と期間  
Observation items and period

	測定項目	単位	観測期間
生育概況	草丈	(cm)	全期間
	稈長	(cm)	出穂期以降
	穂長	(cm)	出穂期以降
	葉数	(枚)	出穂期まで
	茎数	(本/株)	全期間
	穂数	(本/株)	出穂期以降
	SPAD値		全期間
その他	濁度	(mg/l)	冠水試験中
	水位	(m)	全期間
	水温	(℃)	全期間

低減措置は施さず、そのままの状態を保つ。また、栽培期間中は生育概況に関わる項目を継続的に測定し生育段階の判定を行うとともに、冠水試験前後での水稲の変化を捉える。収穫後には、通常の収量関連項目を調査することで試験条件毎に収量を把握し、さらには品質に与える影響もみる予定である。

試験中に観測した項目および観測期間の一覧を **Table 2** に示す。草丈はそれぞれのポットの最長葉の地際から先端までの長さとし、稈長および穂長については地際から穂の先端までが最長のものを1本選定して測定した。葉数、茎数および穂数は目視により計測を行い、茎数は葉数が2枚以上である茎をカウントした。また葉色を表わし葉緑素含有量と相関があるSPAD値については葉緑素計（コニカミノルタ社製 SPAD-502）を用い、各ポットから生育中庸な葉1枚を選択し5点測定した平均を用いた。それぞれの項目について、対照区では移植直後から収穫時期まで継続して観測し、試験予定ポットについては、試験開始の直前に測定を開始する。各項目の測定結果は、それぞれの条件で試験を行った3ポット（対照区は15ポット）の平均値で比較した。

生育概況以外の項目として、試験区での濁度、水位、水温を観測した。濁度は、冠水試験中の模擬冠水区内の値を濁度計（HORIBA社製 マルチ水質モニタリングシステム W-22XD）により1時間間隔で観測した。同時に、試験区の水位・水温を応用地質社製 S&DL-mini を用いて30分間隔で測定した。これらを観測することで、試験期間中の水稲の置かれていた環境を明らかにした。その他、栽培期間中の降水量や気温、日照時間などの一般気象情報については、必要に応じて農工研内に設置されている総合気象観測システム（吉田ら、2012）の観測値を用いることとした。

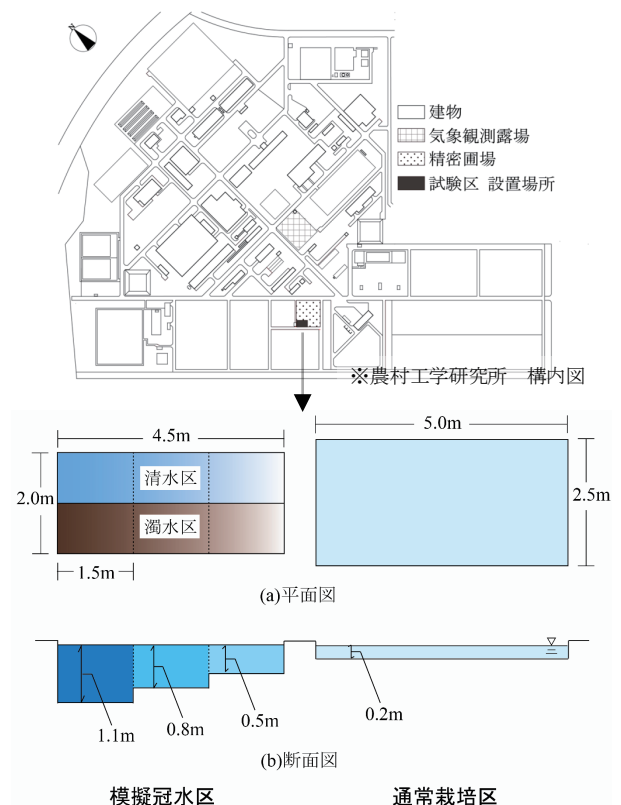
### Ⅲ 圃場における試験区の整備方法

人工的に冠水試験を行った研究は多数あるものの、冠水状態の再現方法は様々である。これまでは用水路で冠水させた例や（氏家ら、1956）コンクリート水槽を利用

した報告（山田ら,1955）があり、また岡ら（1960）は木箱や水田に設置した冠水池を用いて試験を行った。しかし、これらの手法では試験の都度水槽の水を出し入れするなど、水管理に手間がかかることが課題である。さらに、用水路や水槽では実際の水田環境とは異なるため、被害の出現傾向にも違いが出る可能性がある。そこで本試験では、実際の圃場内で田面標高をあらかじめ掘り下げることによって人工的に水深を深くした試験区を整備した。これにより可能な限り実際の冠水災害状況を再現するとともに、試験区の水位は通常の水田水管理を行うだけで深く保たれるため特別な水管理を必要としない点が特徴である。試験区は、通常の栽培状態を保つための通常栽培区（以後、通常区）および、模擬的に冠水状態を再現した模擬冠水区（以後、冠水区）から成る。設置場所は、農村工学研究所内にあり毎年通常の水稲栽培が行われている精密圃場内である（**Fig.1**参照）。以下に試験区設計の詳細を示す。

#### 1 通常栽培区の設定

通常区とは水稲を通常栽培するための区画であり、冠水期間中以外はここにポットを置く。水稲栽培においては、苗の植付け間隔が狭いと成長後に日光を遮断するなど、互いの生育に悪影響を及ぼすことが知られている。この問題を未然に防ぐため、通常の田植え時に設定される条間0.3m、株間0.15mの間隔をポット栽培においても最低限確保できるようにする。ここでは、1ポットあた



**Fig.1** 試験区の設置場所（上）と設計概要図（下）  
Installation location and brief of the experimental area

りの栽培面積を $0.25\text{m} \times 0.45\text{m}$ 程度と設定し、ポットが合計で105個であることから区画全体の面積を約 $12.5\text{m}^2$  ( $2.5\text{m} \times 5.0\text{m}$ )と決定した。また、使用したポットの高さが $0.19\text{m}$ であることから、田面標高を元の高さから $0.2\text{m}$ 掘り下げることで、通常の水管理下でもポットの上端から用水が供給されるように工夫した。圃場の整備については、田面を掘り下げて均平をとった後、底面にコンジットパネル（以下、コンパネ）を敷きポットを安定して置けるようにするとともに、試験中に崩れないように周囲は畔波板で囲んだ（Fig.2(a)）。

## 2 模擬冠水区の設計

冠水区は、田面標高を通常区よりもさらに深く掘り下げることで通常の水管理状態でも水深を深く保ち、模擬的に洪水状態を再現した区画である。冠水区は、中央をコンパネで仕切り水の移動を制限することで、さらに清水区と濁水区の2つに分割している（Fig.1）。清水区と濁水区には通常の水田用水が流入するため、清水区ではその水を利用して冠水試験を行い、濁水区では試験時に濁り状態を作り出す工夫を行うことで両者の濁度に違いを出す（Ⅲ.3参照）。なお、冠水区の整備面積は、全長 $4.5\text{m}$ 、



(a)試験開始時の通常栽培区



(b)完成した模擬冠水区

Fig.2 整備した試験区の様子  
Pictures of the experimental plot

幅 $2\text{m}$ （幅は清水区と濁水区で各 $1\text{m}$ ）とし、シヨベルにより掘り下げ高さを調整した後にコンパネと木材で枠を組み、試験中に崩れないように補強した（Fig.2(b)）。水深は、栽培品種に選定したコシヒカリの草丈が最大で $1\text{m}$ 前後になることを勘案し、 $0.3\text{m}$ 、 $0.6\text{m}$ 、 $0.9\text{m}$ の3段階となるよう計画した。実際は、これに通常区と同様にポットの高さ（ $0.2\text{m}$ ）を加え $0.5\text{m}$ 、 $0.8\text{m}$ 、 $1.1\text{m}$ の3段階で地表面より掘り下げている。このように段階的に水深を変えることで、試験時の水稻の生育段階に合わせて最適な水深区画を使い分けることが可能となり、さらに同程度の草丈の水稻で試験を行う場合にも完全冠水・葉先露出の状態を容易に作り出せる。Fig.3は穂ばらみ期に行った冠水試験の様子であるが、葉先露出と完全冠水の条件をそれぞれ満たしていることが確認できる。

## 3 濁水状態の発生方法および濁度測定結果

冠水区内に設定した濁水区では、水に濁りを発生させ、その状態を維持する工夫を行う。まず、濁水区の水槽中に水田土壌を適量投入し、濁りが発生しやすい状況とする。次に、水中ポンプ（工進社製、ポンスターPZ-550

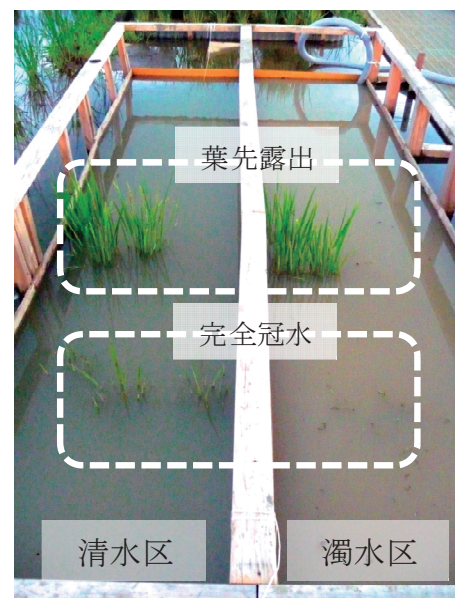


Fig.3 穂ばらみ期の冠水試験中の様子  
(写真奥が浅く、手前が最深部)

Situations of pseudo-flooding experiment in booting stage

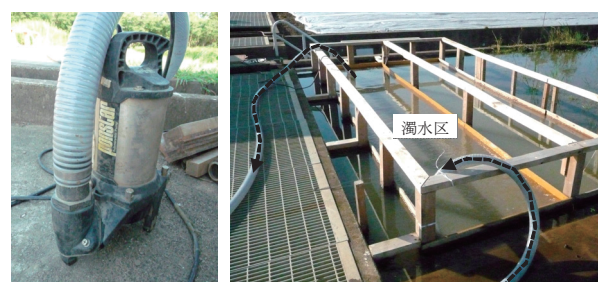


Fig.4 水中ポンプによる濁水区の攪拌  
Situation of water stirring by using submerged pump

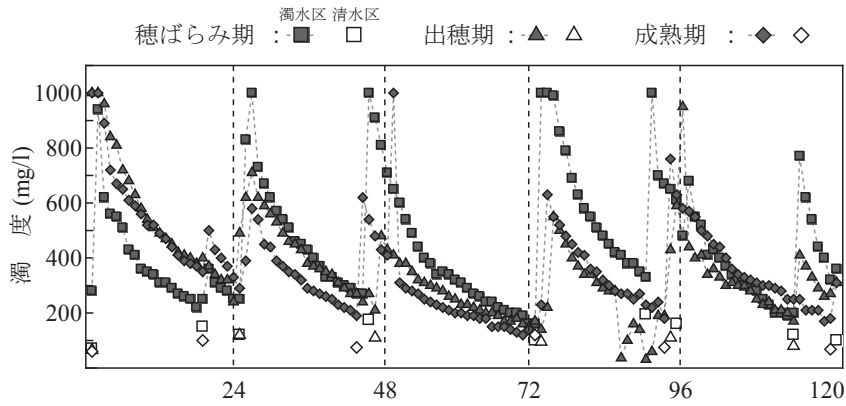


Fig.5 冠水試験期間中の濁度測定結果  
Turbidity measured during of flooding experiment

を使用)を区内の最深部に投入し、吸い上げた水をホースを通じて再び濁水区の最浅部に戻すことで水を循環させ、濁りが生じるまで攪拌する (Fig.4)。その際、濁り度合いは濁度計により随時観測し、使用した濁度計の測定上限値 (ここでは800mg/l) を超えるまで攪拌を継続した。予備試験により、濁度は攪拌を終了すると徐々に低下していくことがわかったため、ポンプを継続的に動かすことで濁り状態を保つ手法も考えたが、狭い濁水区の中では循環水によりかなりの流速が発生することが確認され、冠水状態にある水稲の倒伏といった影響が懸念された。そこで本試験では、その流速による影響を最小限に留めるために、攪拌作業を1日に1~2回 (1回あたり10分程度)、毎日行うことで、冠水期間中の濁り状態を保つこととした。

Fig.5に、各試験期間中の濁度測定結果を示す。図より、濁水区では攪拌の効果で定期的に濁度が急上昇しているのが見て取れる。また、濁水区の濁りが隣接する清水区へ与える影響は微少であり、両区の濁度には明確な差があることが確認された。ここで試験期間中 (5日間) の濁度の平均は、濁水区で360~400mg/l程度、清水区で100mg/l程度であった。

#### IV 栽培期間中の対照区の生育概況と試験日程

Fig.6に通常栽培を行った対照区の生育概況を示す。移植直後は30cm程度であった草丈は6月末には45cmを超え、7月末には90cm弱となった。その後は収穫まで大きな変化はなかった。分けつは6月半ばより始まり、7月半ばまで茎数の増加が続いた。その後、8月1日には初めて穂が出ているポットを観察し、葉鞘のふくれた茎が多数あることから穂ばらみ期であることが確認された。その翌週には出穂が目立ち始め、出穂期に入った。実際に、本年の茨城県の出穂期は7月22日~8月15日と平年並みであったと報告されている。また葉色をあらわすSPADを見ると、通常は生長とともに上昇していくはずが6月後半より下降傾向にあり、このときの葉は緑色が

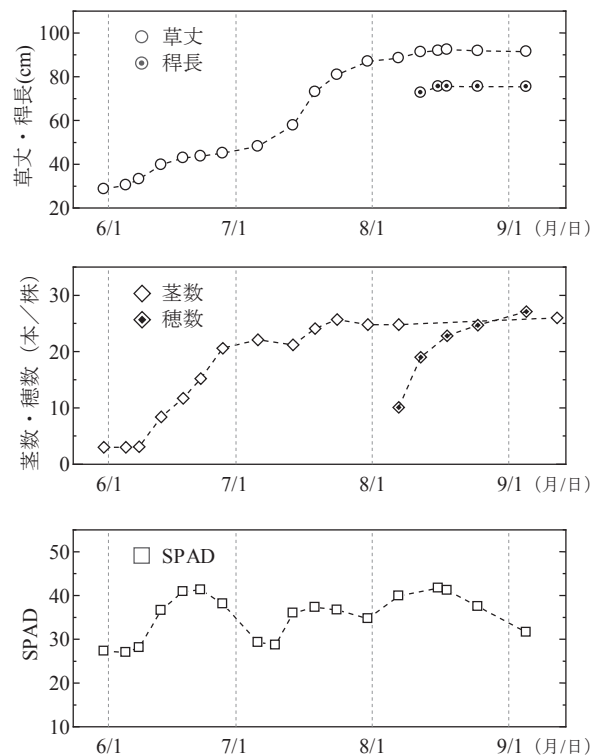


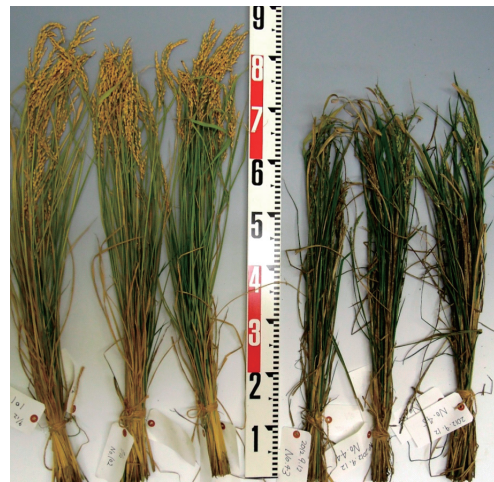
Fig.6 対照区の生育概況  
States of growing stage of rice in control plot

薄く黄色がかった。症状より肥料不足 (主に窒素分) と判断できたので、7月9日に窒素 (N) を2kg/10aの割合となる量ですべてのポットに追肥した。また、穂が出始めた8月1日にも同量の窒素肥料を追加した。収穫直前の計測結果では草丈91.5cm、稈長75.4cm、茎数26.0本、穂数27.1本、SPAD値31.6となった。本年度は夏場に猛暑が続く、特に8月の月降水量は平年の10分の1程度と雨の少ない状況であったが、ポット栽培でも通常の圃場と大差なく、また倒伏も無かったことから生育状況は概ね良好であったといえる。

Table 3に、対照区の生育概況を確認しながら決定した冠水試験の日程を示す。分けつ期の試験は、最高分けつ期を迎える少し手前を狙い6月22~27日に試験を行っ

**Table 3** 平成24年の冠水試験日程  
A schedule of flooding experiment

5月	25日	移植日	
6月	22日～27日	分けつ期	冠水試験
7月	9日～18日	中干し	
8月	2日～7日	穂ばらみ期	冠水試験
	10日～15日	出穂期	冠水試験
9月	4日～9日	成熟期	冠水試験
	12日～13日	刈り取り	



**Fig.7** 冠水試験による外部形態変化  
Changes in morphological characters by flooding

た。穂ばらみ期は初めて穂が確認された直後の8月2日～7日に、出穂期はその翌週である8月10日～15日に試験を行った。成熟期は穂が色づき熟していることを確認できた9月4日～9日に試験を行い、最終的に茨城県の平年の収穫最盛期に合わせて9月12日、13日の2日間ですべてのポットで刈り取りを行い、収穫した。

### V 冠水試験結果と考察

#### 1 栽培期間中に現れた冠水による生育概況への影響

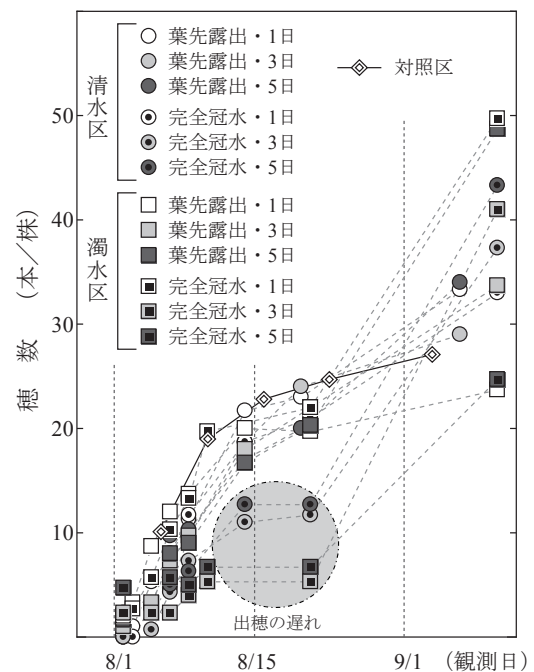
ここでは、冠水後から収穫時期までに現れた水稻の外部形態 (Table 2の生育概況で示した項目) の変化について、試験時期毎に述べる。なお、成熟期に冠水させた水稻は試験終了後間もなく収穫したため、ここでは除く。

##### a 分けつ期試験後の生育状況

草丈については冠水により伸長する傾向があり、それは冠水期間が長いほど顕著に見られた。その後通常栽培に戻すと、しばらくは5日冠水のポットで草丈が一番高い状態が続いたが、試験後20日間経過した7月中旬には伸びが緩やかになり、収穫前にはすべての冠水日数で草丈と稈長が対照区と同程度の長さとなった。茎数については、試験後は分けつが鈍化し、対照区より茎数が少ない状態が続いたが、こちらも7月中旬より再び増加し始め、最終的には対照区よりやや多くなった。また穂数についても冠水期間が長い水稻ほど出穂に遅れがみられ、8月中旬までは対照区より少なかった。しかしそれ以降に穂数が増加し、こちらも最終的には対照区よりもやや多い結果となった。またSPAD値は、全期間を通じて対照区と同程度であった。

##### b 穂ばらみ期試験後の生育状況

穂ばらみ期に冠水した水稻では、他の期間と比較して外部形態に最も大きな変化が現れた。Fig.7は対照区的水稻と、濁水で5日冠水させた水稻の収穫後の比較であるが、試験水稻では枯れが目立ち、明らかに生育状況に差があることがわかる。草丈は、清水区で試験を行った水稻については葉先露出、完全冠水ともに、冠水により



**Fig.8** 穂ばらみ期試験後の穂数の変化  
Change of the number of rice ear

伸長する傾向が見られた。濁水区では清水区に比べて伸長率がやや小さく、試験直後には明確な変化は見られなかったが、通常栽培していくうちに冠水期間が長い水稻ほど枯れた葉や茎が目立つようになり、最終的には草丈も大きく減少した。稈長も、濁水区で完全冠水させたものでは期間が長くなるにつれ短い結果となった。茎数については、葉先露出、完全冠水双方とも対照区より多くなり、その傾向は冠水期間が長いほど顕著であった。ただし、濁水区で5日間完全冠水させたポットでは枯れた茎が目立ち、茎数は減少した。Fig.8に栽培期間中の穂数の変化を示す。清水区・濁水区ともに葉先露出に比べて完全冠水したポットで出穂の遅れが目立ち、特に濁水区でその傾向が顕著であった。例えば、出穂期が概ね終了した8月22日の調査時点で対照区では穂数が24.7本で

あったのに対し、清水区で3日および5日完全冠水させたポットでは12～13本、同様に濁水区の場合では5～6本程度と極端に少なかった。また、それぞれの試験条件で8月下旬以降にも穂数が増加し、最終的には対照区と同等かそれ以上の本数となったものが多い。しかし、既に枯れた穂や高次分けつ茎から出た短小穂が多くみられた。

**c 出穂期試験後の生育状況**

出穂期では、冠水前後で草丈には大きな変化はなかったものの、稈長は少し伸びる傾向がみられ、最終的に濁水で3日および5日冠水したポットでは80cmを超えた。茎数は、分けつ期が終わっているため試験による明確な増減は見られなかった。穂数についても、試験時点である程度穂が揃っていたため、冠水による大きな出穂遅れはみられなかった。試験後の栽培中にも穂数に大きな増減はなく、対照区と同様にゆるやかに増加する程度であった。最終的な穂数は清水区で22～24本、濁水区で25～27本程度となり、対照区と同等かやや少ない。このように出穂期では、分けつ期や穂ばらみ期のような茎数増加や出穂遅れはみられず、冠水による外部形態への影響の出方が異なるといえる。

**2 収穫期における生育状況の比較**

Fig.9は、収穫直前となる9月4日～11日の期間に測定した生育状況の最終結果を示したものである。まず草丈については、冠水させることで全体的に対照区より長くなる傾向が見られたが、穂ばらみ期に濁水区で5日間冠水させた水稲では枯れ具合がひどく、極端に低くなった。稈長については、分けつ期では変化がなく、穂ばらみ期では清水区、濁水区共に完全冠水させたポットで通常より短くなる傾向が見て取れる。また出穂期は稈長が最も長くなり、特に濁水区で伸びていた。茎数と穂数については穂ばらみ期に試験を行った水稲で変化が目立った。特に清水区・完全冠水と濁水区・葉先露出では冠水期間が長くなるにつれ増加している傾向があった。また、穂ばらみ期の濁水区・完全冠水では期間が1日でも茎数および穂数の増加がみられたが、期間が長くなると逆に数が減少した。出穂期では、穂ばらみ期ほどの明確な変化は見られないが、濁水区で冠水させると茎数がやや増加した。しかし穂数については増加せず、対照区と比べてやや少ない結果となった。一方、収穫直前である成熟期に試験を行った水稲では各項目で大きな変化は見られず、影響は小さいといえる。

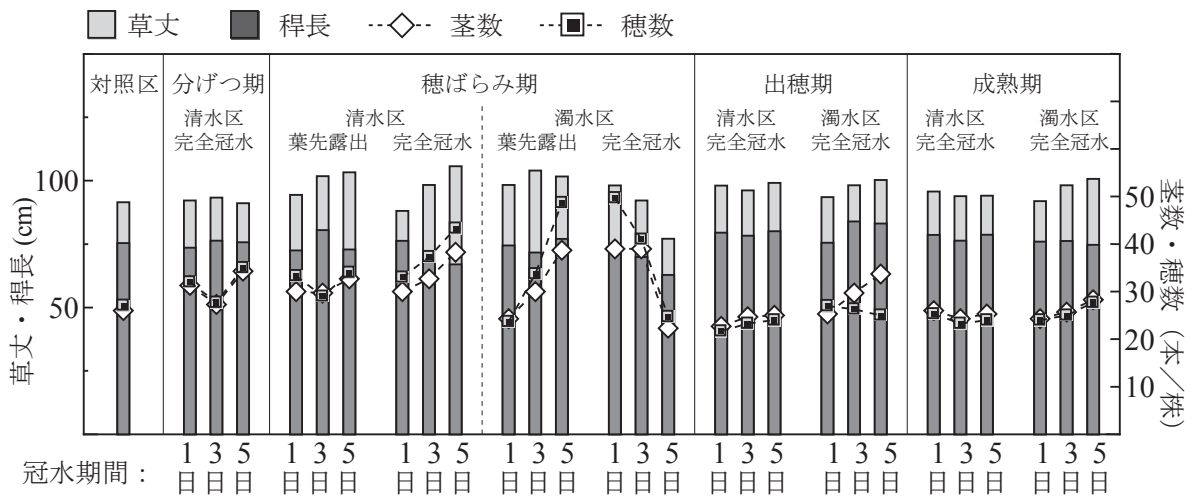


Fig.9 収穫期に測定した生育概況の比較  
Comparison of growth condition in harvest period



(a) 茎・葉の枯れ (b) 籾の不稔 (c) 枯れ穂の出現

Fig.10 冠水試験後に見られた水稲被害の様子  
Damage on rice plant caused by flooding

Table 4 各試験条件における穂への被害発生状況 (調査日: 2012年8月21日~24日)

Damage occurrence on ears in each experimental condition

試験時期	水の清濁	冠水状況	冠水期間	穂数 (本/株) A	籾の不稔			穂全体の被害			被害発生率 (%) ((B+C) ÷ A) × 100
					合計 (本/株) B	内訳		合計 (本/株) C	内訳		
						被害小	被害大		全枯れ	穂折れ	
分けつ期	清水	完全冠水	1日	24.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
			3日	24.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
			5日	31.3	1.0	1.0	0.0	1.0	1.0	0.0	6.4
穂ばらみ期	清水	葉先露出	1日	23.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4
			3日	24.0	0.3	0.0	0.3	0.3	0.0	0.3	2.8
			5日	20.0	3.0	3.0	0.0	1.7	0.0	1.7	23.3
	清水	完全冠水	1日	21.0	6.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.6
			3日	11.7	10.3	6.0	4.3	0.0	0.0	0.0	88.6
			5日	12.7	10.3	8.0	2.3	1.7	0.7	1.0	94.7
	濁水	葉先露出	1日	19.7	1.3	1.3	0.0	0.3	0.3	0.0	8.5
			3日	22.0	3.7	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	16.7
			5日	20.3	7.0	6.3	0.7	0.7	0.0	0.7	37.7
	濁水	完全冠水	1日	22.0	9.7	8.7	1.0	0.0	0.0	0.0	43.9
			3日	5.3	0.7	0.0	0.7	4.7	4.7	0.0	100.0
			5日	6.7	0.3	0.0	0.3	6.3	6.3	0.0	100.0
出穂期	清水	完全冠水	1日	20.7	1.3	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5
			3日	20.0	1.0	1.0	0.0	0.3	0.0	0.3	6.7
			5日	19.0	0.0	0.0	0.0	3.7	0.3	3.3	19.3
	濁水	完全冠水	1日	22.3	2.3	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	10.4
			3日	19.7	3.3	3.3	0.0	2.7	2.3	0.3	30.5
			5日	21.3	1.3	1.3	0.0	2.7	1.0	1.7	18.8
対照区				24.7	0.3	0.3	0.0	0.2	0.0	0.2	2.2

### 3 栽培期間中に見られた水稻被害

#### a 冠水試験後に現れた水稻被害とその発生率

冠水後に通常栽培をしている水稻を観察していると、葉や茎、穂の枯れや不稔籾の出現等の被害がみられた (Fig.10)。そのうち、特に収量に影響があると思われる穂への被害出現状況について調査した結果を Table 4 に示す。穂への被害の種類としては、不稔籾の出現 (Fig.10 (b)) と、穂全体の被害 (Fig.10 (c)) の2通りがあった。不稔籾では、穂の一部で発生した被害が小さいものと、穂の大半が不稔となった被害の大きいものが見られた。また、収量がほぼ見込めない穂全体への被害は、穂の全体が枯れてしまったものと、穂が付いている稈が途中で折れることで収穫できなくなったものがあった。ここでは、それぞれの被害出現穂の数を合計した値を穂数全体で除したものを被害発生率とした。調査日は8月21日~24日であり、冠水試験からの経過日数は分けつ期に行ったもので約60日、穂ばらみ期では約20日、出穂期では約10日である。

表より、分けつ期では大きな被害は見られない。穂に対する被害出現割合が極端に高いのは穂ばらみ期に完全冠水させた水稻である。この試験条件の推定では、前述したように出穂遅れにより穂数は少ないものの、清水区、

濁水区共に3日以上冠水したものではほぼすべての穂に何らかの被害が発生していた。特に濁水区では不稔籾の発生よりも穂の枯れが目立ち、この時点で出穂している穂では収量は見込めない。葉先露出させた水稻では、完全冠水に比べて被害出現率が大幅に低かった。特に清水の場合は冠水期間が3日でも被害発生率が2.8%に留まり、大きな被害低減効果がみられる。ただし、冠水期間が3日と5日の間で大きく出現割合が増加していることから、葉先が露出していた場合でも3日以内に冠水状態から脱却させることが重要と考えられる。出穂期では穂ばらみ期ほどの被害は見られないが、冠水期間が長いほど穂の折れが発生しやすい傾向があり、これが減収に繋がる可能性がある。一方、冠水させていない対照区でも僅かに不稔籾が確認された。しかし、いずれも穂のごく一部のみであり、被害発生穂は全体の約2.2%であった。これにより、本年は通常栽培だけでは大きな被害は発生しなかったことが証明され、不稔籾や穂枯れ等の被害の出現には冠水による影響が大きく関与していることが確認された。

#### b その他の要因による被害

冠水以外の原因で現れた水稻被害としては、カメムシ類による吸害と鳥類による食害が確認された。前者は、





(a) カメムシ類被害による籾の褐変



(b) 鳥類による食害

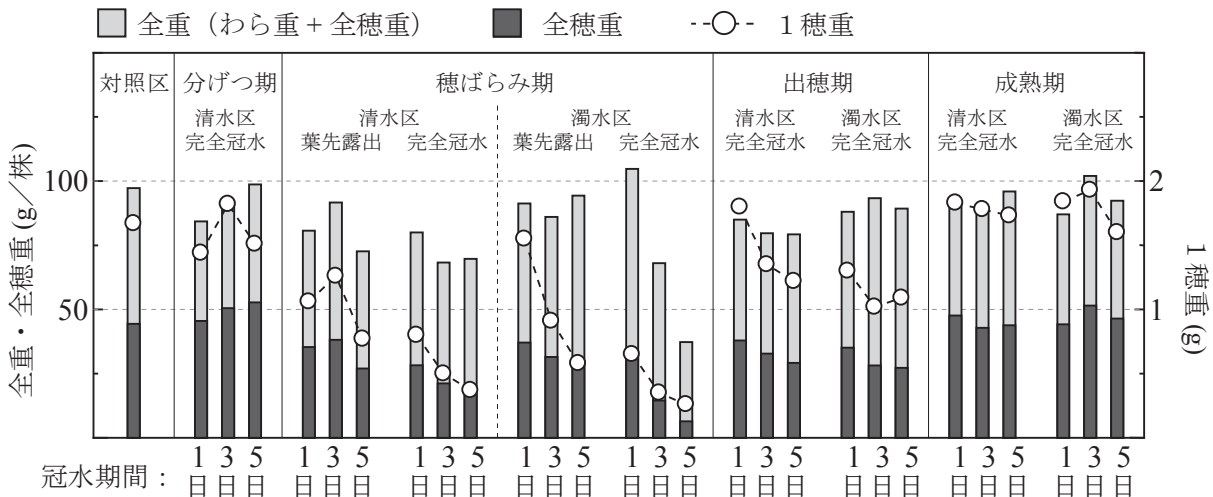
**Fig.11** 冠水以外の原因による水稲被害  
Damage on rice plant caused by other than flooding

主に収穫してから穂が成熟するまでの乳熟期に発生し、これにより籾が褐変するといった変化が現れる (Fig.11 (a))。本年は夏場が高温少雨であったため、カメムシ害の発生しやすい状況であったと考えられる。これは大きな減収要因とはならないが、収穫後の玄米に斑点が現れるなど (斑点米)、玄米品質を低下させる要因となる。防除の方法としては栽培中に各ポットへの殺虫剤 (粒剤) の散布を行った。一方、鳥類による食害は成熟期前である8月末に確認された。カメムシ被害が試験区のほぼ全域で発生していたのに対し、こちらは鳥類の移動が容易

である畦畔沿いに設置していた一部のポットでのみ発生していた。食害では籾そのものが食べられるため、最終的な収量への影響が大きい被害であるといえる。収量調査を行う際には、食害にあった穂を取り除くなどの工夫が必要となる。この対応策としては、水稲全体を収穫ネット袋で覆うことで被害発生を防いだ。次年度は、これらの被害に対して事前に対応策を講じ、発生を防ぎたい。

#### 4 収穫後に測定した全重、全穂重及び1穂重の比較

それぞれの水稲は、9月12日、13日の2日間ですべて収穫を終えた。収穫した水稲は3週間程度保管し、乾燥させた後に収量調査に向けて各項目の測定を開始した。ここでは、その速報値として水稲の全重 (わら重+全穂重) および、1穂重 (全穂重/穂数) を計測した結果を Fig.12 に示す。分けつ期では冠水期間とともに全重および全穂重がやや増加しているが、1穂あたりの重さでは対照区よりやや軽かった。穂ばらみ期では各値の変化が最も大きく、その傾向は特に濁水区で顕著であった。また清水区・濁水区共に、完全冠水に比べて葉先露出の場合は被害が小さいことが示された。ここで、濁水区・葉先露出と比較して清水区・完全冠水の方が収量に繋がる穂重が軽いことから、水稲の減収要因としては水の清濁よりも葉先が出ているか否かが大きな影響を与えようと考えられる。このことから、実際に冠水が発生した場合に取るべき応急的対策として、水稲の一部でも水面から出るように保つことが有効であるといえる。さらに、冠水被害度合いの予測には被害発生時の水稲生育段階と水深の関係にも留意する必要がある。出穂期では、全重には大きな変化はないものの穂重が冠水期間とともに低下しており、その影響は濁水区の方が大きかった。これより、出穂期には冠水による外部形態変化は小さいが、最終的な収量の低下には影響が懸念されることが示された。一方、成熟期ではすべての項目で大きな変化はなく、この時期は冠水した場合にも収量への影響はほぼ無いと考え



**Fig.12** 試験条件毎の収穫後の全重および全穂重と1穂あたりの重さ  
Total weight of rice plant, weight of all ear and a ear weight after harvesting

られる。

この収量調査は今後進めていき、最終的な収量から見た各条件の減収度合いを纏めていく。

## VI 結 言

現行栽培品種であるコシヒカリを用いて、水稻減収尺度の策定に向けた模擬冠水試験手法を新たに提案した。また、試験条件として水稻の生育段階、冠水深、水の清濁および冠水期間を設定し、本手法により初年度の冠水試験を行うとともに試験中の水稻の生育状況を観察した。本研究の結果をまとめると以下のものである。

- 1) 洪水時の水田内環境に近い状態で試験が可能な模擬冠水区を整備した。冠水区では水深を0.5, 0.8, 1.1mの3段階に設計することで、水稻の生育段階に応じて葉先露出などの状況を容易に設定できる。さらに区画を2つに仕切り濁水（ここでは濁度400mg/l程度）を発生させる工夫を行うことで、濁度の違いに応じた冠水被害度合いの違いを比較することが可能である。
- 2) 分けつ期の冠水直後には草丈の伸びや茎数の増加抑制などがみられるが、最終的には対照区と比べて生育状況に大きな影響はなく、収穫後の穂重にも大きな変化は見られない。
- 3) 穂ばらみ期に長期間冠水することで、葉や茎が枯れ外部形態に最も大きい変化が見られた。特に濁水で3日以上冠水すると出穂時期に遅れが見られる。収穫前には高次分けつ穂の増加により穂数が対照区よりも多くなったものの穂重は軽く、最も減収度合いが大きいと予想された。
- 4) 出穂期には、冠水による外部形態への被害は小さいものの、やや穂数が減少している。さらに穂重が冠水期間とともに減少しており、最終的な収量は低下する可能性が示された。また、その傾向は濁水区で大きいことが分かった。一方、成熟期では冠水による被害が明確に現れず、この時期では被害リスクが小さいと考えられる。
- 5) これらの結果より、冠水に対して極端に脆弱な生育段階は穂ばらみ期であり、次いで出穂期、分けつ期、成熟期の順で被害が大きいことが示された。また、冠水中の濁度が高い場合にはさらに被害が増す。一方、冠水状況では、葉先が露出していることで水稻への被害度合いが低減された。この状態を保つよう努めることが実際の水害時の応急的対処として効果があると考えられる。

本年度に収穫した水稻は収量調査を行うとともに、さ

らに玄米品質についても調査する予定である。この調査結果を基に、暫定版の減収尺度の策定を目指す。その後、必要とするデータを重点的に得られるよう試験条件、栽培品種等を吟味し、次年度の冠水試験計画を練る予定である。

**謝辞：**本試験で用いた通常栽培区及び模擬冠水区の整備にあたって、その工事を農村工学研究所農業技術支援チームの宮本章、岡野昇、馬場貴士の各氏の支援を得た。ここに記して深謝の意を表す。

## 引用文献

- 1) 茨城県農業総合センター (2010)：普通作物栽培基準（含む、工芸作物）、[http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen\\_type/h\\_sehi\\_kizyun/pdf/101122sakumotu.pdf](http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_sehi_kizyun/pdf/101122sakumotu.pdf)（確認日：2012/11/05）
- 2) 独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 作物研究所：イネ品種特性データベース検索システム、<http://ineweb.narcc.affrc.go.jp/index.html>（確認日：2012/11/02）
- 3) 堀江武 (2004)：新版作物栽培の基礎，58，農山漁村文化協会
- 4) 皆川裕樹・増本隆夫・堀川直紀・吉田武郎・工藤亮治・北川巖・瑞慶村知佳（印刷中）：洪水時の水田環境を再現した水稻減収尺度推定のための模擬冠水試験，応用水文，25，\*-\*
- 5) 水沢誠一・阿部徳文・仲山和久・萩野孝司・東聡志・金高正典・奈良悦子 (2006)：7.13新潟豪雨による冠水および土砂流入が水稻の生育・収量に及ぼした影響，北陸作物学会報，41，149-151
- 6) 農林水産省大臣官房統計部 (2012)：平成24年度産水稻の作付面積及び9月15日現在における作柄概況，[http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou\\_kome/pdf/suitou\\_120915.pdf](http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_kome/pdf/suitou_120915.pdf)（確認日：2012/11/05）
- 7) 農林省宮城統計調査事務所 (1951)：昭和23年水害に依る水稻被害減収推定尺度の種々相，3-12
- 8) 農林省農林経済局統計調査部 (1957)：水稻減収推定尺度，12-13，農業技術協会
- 9) 岡正・窪田忍 (1960)：水稻の冠水対策に関する試験第1報幼穂伸長期における冠水被害について，日本作物学会九州支部会報，16，52-54
- 10) 氏家四郎・斎藤豊治・加藤力 (1956)：水田冠水被害による形態的变化について，農業気象第12 (3)，91-94
- 11) 山田登・太田保夫・長田明夫 (1955)：水稻の冠水抵抗性に関する研究，日本作物学会紀事，23 (3)，155-161
- 12) 山田登・太田保夫 (1956)：水稻の冠水抵抗性に関する品種間差異，日本作物学会紀事，24，151-153
- 13) 吉田武郎・増本隆夫・堀川直紀 (2012)：農村工学研究所内における総合気象観測システムの構築とそのデータ品質管理，農村工学研究所技報，212，43-52

## A Pseudo-flooding Experiment under Real Inundation Conditions by Using Clean and Turbid Water Plots to Formulate Reduction Scales in Rice Yield

– Design of the Experimental Plots and Investigation of Growth Conditions –

MINAKAWA Hiroki\* · MASUMOTO Takao\* · HORIKAWA Naoki\* · YOSHIDA Takeo\* · KUDO Ryoji\*  
· KITAGAWA Iwao\* and ZUKEMURA Chika\*

### Summary

We describe a methodology for a pseudo-flooding experiment to quantify the effect of inundation on rice yield. For the experiment, we chose the popular Japanese rice cultivar Koshihikari. The experimental arena was constructed in a rice paddy and consisted of two zones, one in which the rice was cultivated as usual with the usual water levels, and a flood zone, which was used for submerging the rice plants. The flood zone, which was designed to reproduce real flood disaster conditions in a paddy field, can be filled to a depth of 0.3, 0.6 or 0.9 m above ground level, and in addition it is divided into two plots, a clean water and a turbid water part. Thus, the experimental conditions can vary according to (1) the development stage of the rice, (2) complete or incomplete submersion, (3) clean or turbid water, and (4) duration of submersion. As a result, we showed that the booting stage of rice development was particularly vulnerable to complete submersion: the dominant effects were changes in morphological characters such as leaf drying and increased numbers of stems and ears, as well as a drastic reduction in yield. In contrast, rice plants submerged incompletely at this stage showed resistance to submersion. Thus, one action that can be taken to reduce flood damage might be to keep the leaf tips above the water surface.

**Keywords** : rice plants, flood damage, reduction scales in rice yield, pseudo-submergence plot, risks by heavy rainfall

