

## 平成28年熊本地震により被災した水田で栽培された水稲の生育特性

脇山恭行・榮誠三郎<sup>1)</sup>・田中誠司<sup>2)</sup>・柴田昇平・野見山綾介

(2018年4月9日 受理)

## 要 旨

脇山恭行・榮誠三郎・田中誠司・柴田昇平・野見山綾介：平成28年熊本地震により被災した水田で栽培された水稲の生育特性。九州沖縄研研究資料 95：49-66, 2019.

平成28年熊本地震により、震源地や断層周辺の水田では亀裂が入ったり、水田表面が凹凸となる不陸が生じたりするなどの被害が発生した。熊本市東区秋津地区及び益城町の不陸が発生した水田で栽培された水稲の株当たり生育量は、凹部が凸部に比べて大きかった。その結果、秋津地区の水田では、水稲の収量は凹部で高かった。しかし、益城町の一部の水田では凹部で欠株が多く、収量は低かった。欠株の原因は、移植直後、水深が深く苗が水没して枯死したことによるもの、もしくはスクミリンゴガイの食害によるものと推察された。一方、田面が露出しやすい凸部では多くの場合雑草が繁茂していた。益城町の水田の凹部の水稲の葉色は著しく濃く、玄米タンパク含有率も高かった。凹部は、基盤整備前に配置されていた短冊状のクレークに対応しており、その影響を受けたためと推察された。不陸が生じた水田の凹部では、深水による苗の枯死の回避、およびきめ細かい水管理と薬剤施用によるスクミリンゴガイによる被害回避、凸部においては雑草防除が必要である。また、凹部では玄米タンパク含有率を適切な値にするための肥培管理が必要である。阿蘇市の調査水田では、田面には被害は見られないものの漏水の程度が大きく、著しい生育不良と生育むら、雑草の繁茂が観察された。電気探査によると漏水箇所は畦畔の地下部と推定され、土壤改良材等を用いて漏水箇所とみられる畦畔地下部の修復が必要と考えられた。

キーワード：平成28年熊本地震、水稲、不陸、漏水、スクミリンゴガイ、雑草

## I. 緒 言

平成28年熊本地震（以下、熊本地震と略す）により、震源地に近い益城町周辺の水田では亀裂、田面に高低差が生じる不陸および液状化に伴う噴砂が確認された。亀裂が発生した水田では、水稲の作付けが困難になった水田が見られた。一方で、水田に何らかの被害を受けながらも、移植が行われた水田も多く見られた。

地震で被災した水田での水稲の生育調査につい

ては、これまで、2004年（平成16年）新潟県中越地震で液状化により発生した噴砂が水稲の生育に及ぼす影響について報告されている（松村・千葉、2006）。しかし、不陸が発生した水田、また亀裂が生じ漏水の程度が大きい水田で栽培された水稲の生育や収量に関する調査事例は少ない。

熊本地震により不陸や亀裂が生じた水田で水稲が栽培された場合、水稲の生育や収量はどうなるのか、栽培を行う上でどのような問題があるのかを明らかにする必要がある。また、今後発生する地震に備え

て知見を積み重ねる必要がある。そこで、熊本地震により不陸が発生した水田および亀裂により漏水の程度が大きい水田で栽培された水稻の生育特性調査を実施した。併せて、被災状況の実態を把握するため、被災現場への視察を行い写真画像データの蓄積を図った。

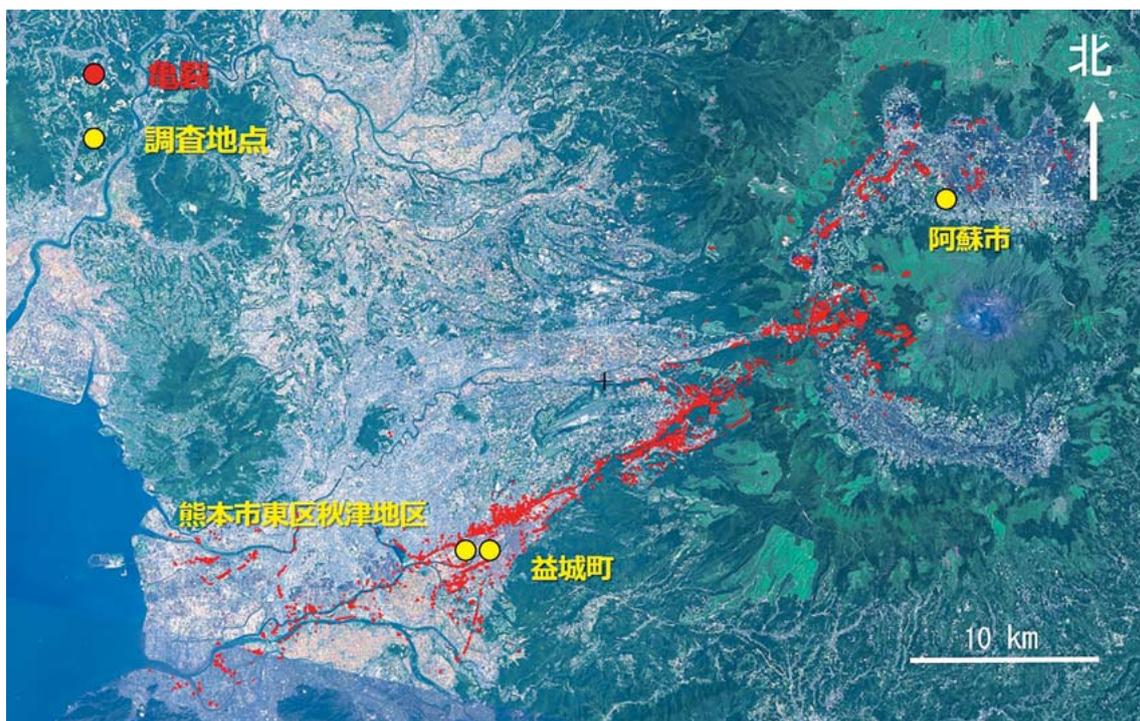
被災水田での調査では生産者の方々には多大なご協力を頂いた。ここに深くお礼を申し上げる。本研究を実施するにあたり、熊本県には地震後行われた航空機によるレーザー測量データを提供して頂いた。データ提供にお礼申し上げます。また、九州沖縄農業研究センター雑草・土壌管理グループの住吉正グループ長、虫害グループの松倉啓一郎主任研究員には被災水田における雑草防除方法の策定、スクミリングガイの防除方法について助言を頂いた。両氏のご協力に感謝申し上げます。同じく九州沖縄農業研究センター業務第1科石松進一氏には現地調査等で多大な支援を頂いた。お礼申し上げます。本調査は、農林水産省の平成28年度農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業の緊急対応研究課題として実施された。

## Ⅱ. 熊本地震による水田、農業施設の被害状況

熊本地震により、震源地や断層周辺の水田ではこれまでの報告と同様に、亀裂、農地に凸凹が生じ均平度が低下する不陸、液状化に伴う噴砂が確認された（藤森ら, 2006; 若杉・藤森, 2008）。その他、農道、水路、畦畔の損壊も見られた。

亀裂の多くは第1図に示したように、震源地近くの益城町から阿蘇地方にかけての断層上（国土地理院, 2016）で発生した。写真1は、阿蘇地方の中でも大きな亀裂が発生した場所の1つである阿蘇市跡ヶ瀬付近の地震直後の航空写真である。写真左下から右上にかけて亀裂が走っているのが確認できる。写真2は、地上で撮影した亀裂の状態である。写真は当年の7月10日撮影されたものである。周辺の被害を受けていない水田では、移植が行われ水稻の栽培が行われているが、この水田では何も作業が行われていない。

不陸も各地で発生した。写真3A, 3B, 3Cは、益城町、阿蘇市の不陸が発生した水田である。益城町の写真3Aは、不陸の凸部と凹部の部分が交互に表れた水田を示している。この水田では飼料作物が作付けされており凸部では作物が見られるが、凹部



第1図 地震で発生した亀裂の分布と調査地点  
国土地理院地理院地図の亀裂分布図に調査地点、スケールを加えて作成。



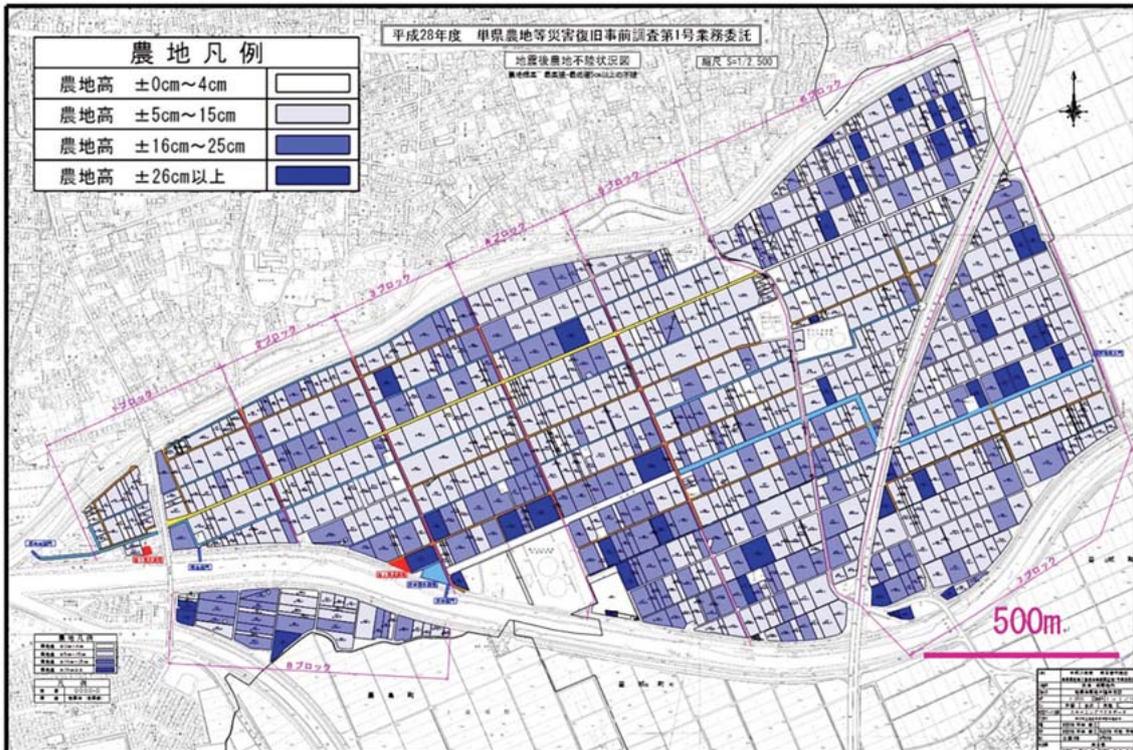
写真1 阿蘇市跡ヶ瀬付近の航空写真  
2016年4月16日撮影，国土地理院地理院地図にスケールを加えて作成。



写真2 阿蘇市跡ヶ瀬付近で発生した亀裂  
2016年7月10日撮影。



写真3 不陸が発生した水田  
A：益城町 2016年10月3日撮影，B：益城町 2016年10月3日，C：阿蘇市 2016年7月10日。



第2図 熊本市東区秋津地区の各圃場における不陸の発生状況  
熊本県による調査結果。

では水が溜まった状態で湿害が発生したためか、枯死して作物が見あたらない。写真3Bでは、水稻が栽培されていて登熟期に入っているが、凹部では水が溜まった状態で稲株が見あたらない。凸部では稲株は見られるが、まばらで雑草が繁茂していた。写真Cは写真右側が凸部、左側が凹部となっている。凸部の水深を確保するため、水田に波板を設置している。これらの被災水田の写真は、不陸の発生が作物の生育に大きな影響を及ぼすことを示している。

第2図には、熊本市東区秋津地区の不陸の発生状態を示した。土地改良事業では水田の均平度の目標を $\pm 35\text{mm}$ としている（農業土木学会，2000）。また、熊本県では均平度の目標として高低差を5cm以内としているが（熊本県農業革新支援センター，2016），第2図によれば秋津地区の多くの水田で土地改良事業，熊本県の目標とする均平度を上回っていることがわかる。中には均平度が $\pm 26\text{cm}$ を超え

る圃場も見られる。

写真4Aには地震直後の2016年4月16日撮影された秋津地区の航空写真を示した。写真では圃場の一部が湿ったように黒ずんで見える箇所がある。この箇所は液状化が発生したものと考えられる。その箇所を地上で撮影したのが写真5である。圃場面には大量の砂が確認され、液状化に伴う噴砂の痕と考えられた。写真4Bは1974年～1978年に撮影された写真4Aと同じ場所の航空写真である。液状化が発生した場所を見ると基盤整備が行われる前は河川であったことが確認できた。液状化とそれに伴う噴砂は、以前河川であった場所で発生しやすいことが報告されている（小山・青山，2017）。秋津地区で見られた液状化とそれに伴う噴砂も過去の地表面の状態の影響を受けた結果であると考えられた。また、阿蘇市の水田でも写真6A，6Bに示したとおり噴砂痕が見られた。



写真4 噴砂痕が見られた熊本市東区秋津地区の航空写真

A: 2016年4月16日撮影，B: 1974～1978年撮影。黄色いラインで囲まれた部分で噴砂痕が見られた。国土地理院地理院地図にマーキング，スケールを加えて作成。



写真5 熊本市東区秋津地区の圃場で見られた噴砂痕  
2016年7月20日撮影。



写真6 阿蘇市の圃場で見られた噴砂痕  
2016年7月28日撮影。写真A、Bとも同じ圃場。



写真7 地震による農道、水路、畦畔の損壊

A：阿蘇市の広域農道の損壊（2016年7月10日撮影）、B：阿蘇市の農道の損壊（2016年7月10日）、C：阿蘇市の水路の損壊（2016年7月28日）、D：熊本市東区秋津地区の水田畦畔の損壊（2016年7月20日）。

地震は農地に被害を与えたばかりでなく、写真7A, 7B, 7C, 7Dに示したように農道、水路、畦畔にも大きな被害を与えた。農道の損壊により農作業に必要な機械、資材等の運搬が、水路の損壊では水稻の栽培に必要なかんがい水の給水と水田からの排水が困難になった。また、畦畔が損壊し水田のかんがい水が隣の圃場に漏れる水田も見られた。

### Ⅲ. 調査水田と調査方法

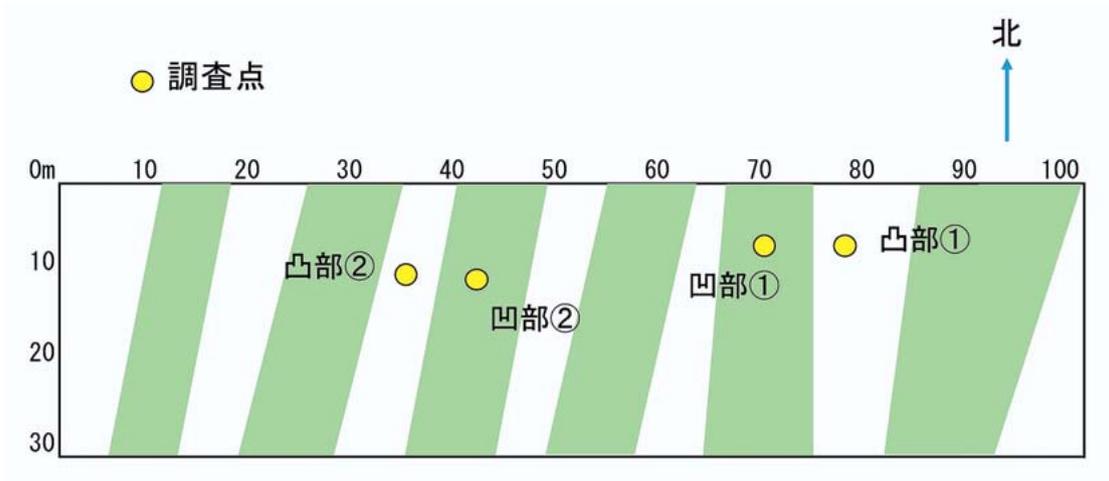
水稻の生育特性調査は、熊本市東区秋津地区、益城町、阿蘇市の被災水田で行った。秋津地区と益城町は不陸が発生した水田、阿蘇市では外観上被害は見られないが地下部が被害を受け漏水の程度が大きくなったと考えられる水田である。調査水田の場所を第1図に示した。生育調査は、秋津地区では出穂期と成熟期に、凸部、凹部の各3か所で10株の草丈、茎数、穂数、葉色等を測定した(第3図)。葉色測定は、株中の最も高い茎の止葉を対象としてクロロフィルメーター(コニカミノルタ SPAD - 502)を用いて測定した。益城町では、成熟期に凸部と凹部の各2か所で、10株の草丈、穂数、葉色を測定した(第

4図)。葉色測定は秋津地区と同様の方法で行った。また、益城町では水田内の葉色分布を調べるために畦畔に沿って水田外周部の葉色も測定した。測定は各調査点で畦畔に近い5株を測定した(第5図)。収量調査は、秋津地区、益城町の水田とも各調査点で2~3㎡の水稻を刈り取り行った。外観品質は穀粒判別器(サタケ RGQI 20A)、玄米タンパク含有率は成分分析計(ケット AN-820)で測定した。秋津地区の水田では出穂期に水深調査を行った。水深は第3図に示したように、水田内を5mメッシュで区切りメッシュの各交点で測定した。測定は、ものを差しを田面に軽く当てるように垂直に置き水深を読み取った。阿蘇市の水田では、生育量と生育むらを可視化するために、第6図に示した56地点において、10株の草丈を測定し平均値を求めた。調査対象とした品種は、秋津町では「くまさんの力」、益城町の水田では「ヒノヒカリ」、阿蘇市では「みつひかり」である。不陸発生状況の把握には、熊本県が熊本市東区秋津地区で実施した地震後の航空レーザー測量の結果を利用した。

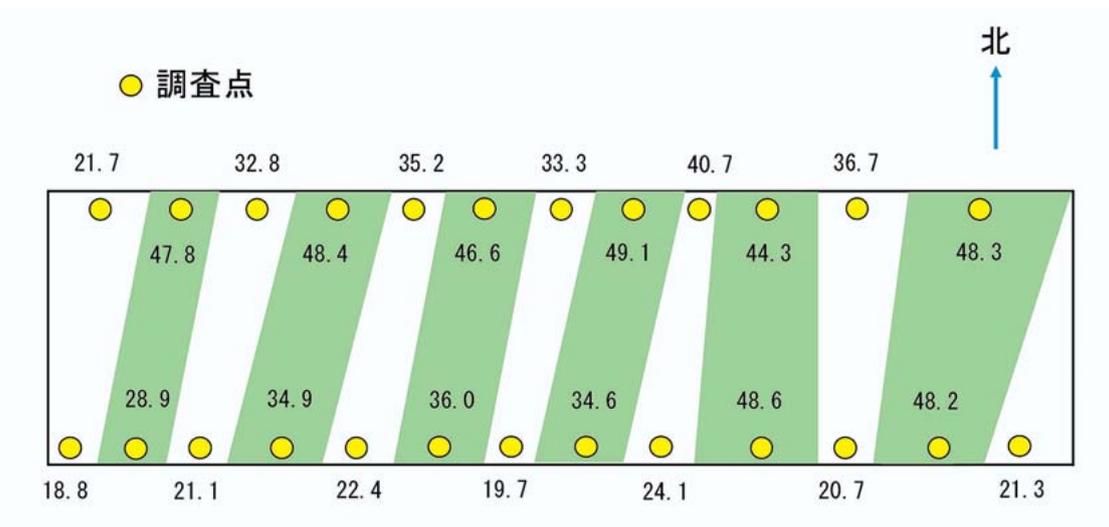


第3図 熊本市東区秋津地区の調査圃場の概略図

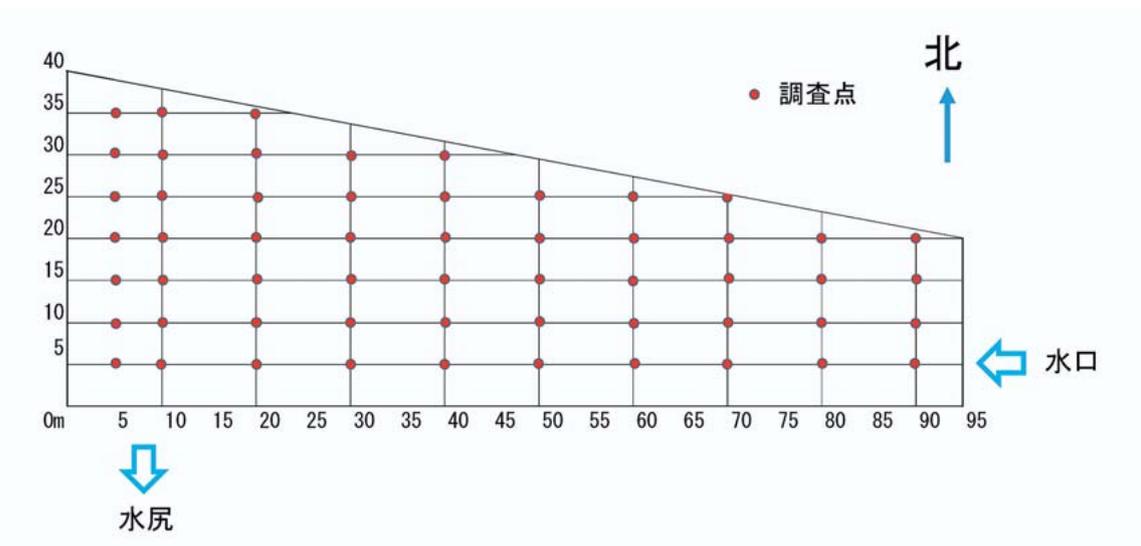
図中に生育調査点と出穂期における水深分布を示した。メッシュ中の数字は水深(mm)。メッシュサイズは5m x 5m。



第4図 益城町の調査圃場における葉色むらと生育調査点



第5図 益城町の調査圃場における畦畔際の水稲のSPAD値  
図中の数字が測定値, 2016年10月6日測定。



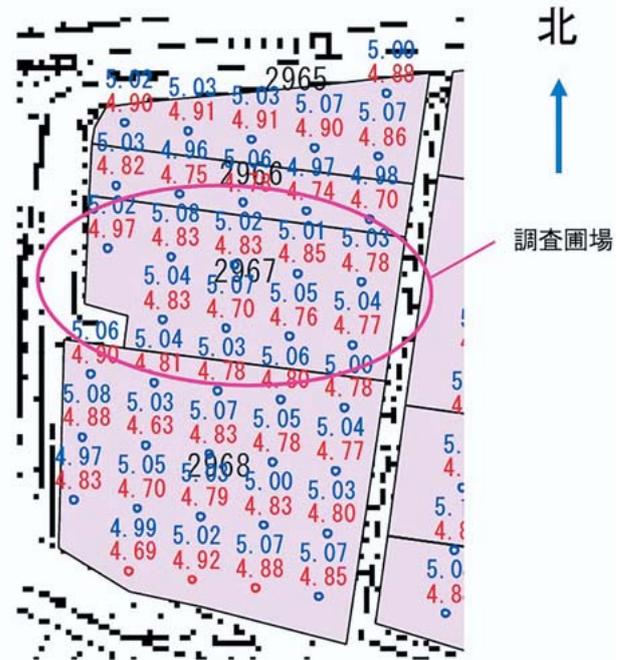
第6図 阿蘇市の調査圃場の概略図および生育調査点

#### IV. 結果および考察

##### 1. 熊本市東区秋津地区の水田での調査

###### 1) 調査水田の特徴

調査を行った水田では、不陸の発生により水田内で相対的に高い場所（凸部）と低い場所（凹部）が生じた（写真 8A, 8B）。熊本県が実施した航空レーザー測量値に基づき、調査を行った水田の標高分布を第 7 図に示した。測量の結果、調査水田の高低差は 27cm（最大標高 4.97m、最小標高 4.70m）に達していたことがわかった。地震前の水田内の最大標高は 5.07m、最小標高は 5.00m、圃場内の高低差は 7cm であったので、地震によって水田全体が沈下し、水田内では高低差が大きくなったことがわかった。水田内での高低差の発生により、移植直後には凸部では水がかからず陸の状態になっており（写真 8B の右側）、凹部では常に苗が水に浸かった状態となっている（写真 8B の左側）。第 3 図には水田の水深分布の測定結果を示した。水田西側の凸部の水深は概ね 5mm 前後で陸のような状態になっているが、東側の凹部の水深は最も深いところで 90mm であっ



第 7 図 熊本市東区秋津地区の調査圃場と周辺圃場の地震前と地震後の標高の変化

熊本県による航空レーザー測量の結果。青字は地震前の標高 (m)。赤字は地震後の標高 (m)。



写真 8 熊本市東区秋津地区の不陸が発生した水田  
A: 不陸が発生した水田の遠景（手前から 3 枚目の圃場，2016 年 7 月 6 日撮影），B: 不陸が発生した水田（2016 年 7 月 6 日撮影）。

た。生育調査はこの結果に基づいて、水がかかりにくい凸部で生育している水稻と常に水に浸かっている水深が深い凹部で生育している水稻を対象に行った。

###### 2) 水稻の生育特性

水稻の出穂期と成熟期における生育調査の結果を第 1 表に示した。出穂期における凹部の草丈は 96.3cm と凸部の 87.0cm に比べて大きく 5% 水準で有意差が見られた。茎数も凹部は 29.1 本 / 株と凸部の 19.8 本 / 株に比べて多く 1% 水準で有意差が見られた。葉色は、水域部でやや高い傾向が見られたが有意差は見られなかった。成熟期の調査では、凹部では稈長が長く、穂数が多い傾向が見られた（有意差なし）。収量と収量構成要素等の調査結果を第 2 表に示した。粗玄米収量は、凹部で 571g/m<sup>2</sup>、凸部で 506g/m<sup>2</sup>と凹部が高く、5% 水準で有意差が見られた。籾数は、収量の高かった凹部で 27,879 粒 / m<sup>2</sup>と凸部の 23,228 粒 / m<sup>2</sup>に比べて多かった。生育調査では凹部の草丈は高く茎数も多いなど生育が旺盛であったため、凸部に比べて収量が高かったものと考えられた。凸部では通常的水稻栽培と生育環境が異なり、生育期間を通して水がかかりにくい状態で

第1表 熊本市東区秋津地区の調査圃場における水稻の出穂期と成熟期の生育調査結果

調査点	出穂期 (8月30日)				成熟期 (10月11日)			
	草丈 (cm)	茎数 (本/株) (本/m <sup>2</sup> )		SPAD	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/株) (本/m <sup>2</sup> )	
凹部①	98.8	26.5	347	40.4	74.6	21.2	27.3	358
凹部②	99.8	30.1	394	39.5	75.6	21.8	24.5	321
凹部③	90.2	30.8	404	40.9	71.8	21.8	22.4	294
平均±標準偏差	96.3±5.3	29.1±2.3	382±30	40.3±0.7	74.0±2.0	21.6±0.3	24.7±2.5	324±32
凸部①	88.0	20.2	265	36.8	69.9	22.0	21.2	278
凸部②	86.8	18.9	248	40.4	74.0	22.3	24.5	321
凸部③	86.1	20.2	265	35.2	72.2	22.6	20.8	273
平均±標準偏差	87.0±1.0	19.8±0.8	259±10	37.5±2.7	72.0±2.1	22.3±0.3	22.2±2.0	290±27
t検定 <sup>a)</sup>	*	**	**	ns	ns	ns	ns	ns

a) \*5%水準で有意差あり, \*\*1%水準で有意差あり, ns有意差なし。

第2表 熊本市東区秋津地区の調査圃場における水稻の収量と収量構成要素

調査点	粗玄米収量 <sup>a)</sup> (g/m <sup>2</sup> )	精玄米収量 <sup>a), b)</sup> (g/m <sup>2</sup> )	籾数 (粒/m <sup>2</sup> )	穂数 (本/m <sup>2</sup> )	1穂籾数 (粒)	登熟歩合 (%)	千粒重 <sup>a)</sup> (g)	欠株率 (%)
凹部①	595	549	28754	340	84.6	87.1	21.9	6.7
凹部②	553	501	27212	327	83.3	82.9	22.2	0.0
凹部③	566	525	27670	289	95.8	88.9	21.4	3.3
平均±標準偏差	571±21	525±24	27879±792	318±27	87.9±6.9	86.3±3.0	21.8±0.4	3.3±3.3
凸部①	489	468	22577	254	88.7	93.7	22.1	10.0
凸部②	532	508	25029	305	82.1	90.8	22.3	6.7
凸部③	496	474	22258	277	80.3	95.5	22.3	0.0
平均±標準偏差	506±23	483±22	23288±1516	279±25	83.7±4.5	93.3±2.4	22.2±0.1	5.6±5.1
t検定 <sup>c)</sup>	*	ns	*	ns	ns	*	ns	ns

a) 粗玄米収量, 精玄米収量および千粒重は玄米水分含量15%として計算。

b) 精玄米収量, 千粒重は1.8mmの篩目を通して測定。

c) \*5%水準で有意差あり, ns有意差なし。

第3表 熊本市東区秋津地区の調査圃場における水稻の玄米タンパク含有率

地点	玄米タンパク含有率 <sup>a)</sup> (%)
凹部①	6.3
凹部②	6.6
凹部③	6.5
平均±標準偏差	6.5±0.2
凸部①	6.2
凸部②	6.4
凸部③	6.7
平均±標準偏差	6.4±0.3
t検定 <sup>b)</sup>	ns

a) 玄米タンパク含有率は水分含量15%として計算。

b) ns有意差なし。

あったため, 水の不足により生育量が劣ったものと考えられる (Kameoka et al., 2015)。

玄米タンパク含有率を第3表に, 玄米外観品質を第4表に示した。タンパク含有率に凹部と凸部との間で差は見られなかった。玄米外観品質では, 青未

熟粒が凹部が多かったが, その他の被害粒、未熟粒に凹部と凸部の差は見られなかった。凹部で青未熟粒が多かったのは, 凸部に比べ籾数が有意に多く(第2表), 熟れ残った籾が多かったためと考えられる(小谷ら, 2006)。

調査水田の凹部では, 部分的に欠株が確認された(写真9A)。田面にはスクミリングガイが見られたことから(写真9B), 欠株はスクミリングガイによる被害によるものと考えられた。また, 移植後凹部では深水状態になりやすく苗が水没し枯死したため欠株が生じたものと考えられた。

不陸が発生した水田は水管理が難しいため雑草が発生しやすいと考えられる。調査水田では, 水のかかりにくい凸部で雑草が観察された(写真9C)。観察された雑草はアゼガヤ(イネ科), ホソバツルノゲイトウ(ヒユ科), カヤツリグサ(カヤツリグサ科), アゼナ(アゼナ科), ツユクサ(ツユクサ科)である。

第4表 熊本市東区秋津地区の調査圃場における水稻の玄米外観品質

調査点	整粒	乳白粒	基部未熟粒	腹白粒	青未熟粒	胴割粒	その他未熟粒
凹部①	72.9	1.7	0.5	1.1	6.0	0.1	15.0
凹部②	74.0	3.3	0.8	1.7	4.4	0.0	12.5
凹部③	74.2	2.5	0.5	1.6	6.0	0.0	13.0
平均±標準偏差	73.7±0.7	2.5±0.8	0.6±0.2	1.5±0.3	5.5±0.9	0.0±0.1	13.5±1.3
凸部①	74.9	2.2	0.3	1.1	2.7	0.0	17.2
凸部②	80.3	1.0	0.4	0.7	1.7	0.0	13.8
凸部③	83.4	1.6	0.2	1.3	0.7	0.0	11.2
平均±標準偏差	79.5±4.3	1.6±0.6	0.3±0.1	1.0±0.3	1.7±1.0	0.0±0.0	14.1±3.0
t検定 <sup>a)</sup>	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns

単位は%。

a) \*\*1%水準で有意差あり, ns 有意差なし。



写真9 熊本市東区秋津町の不陸が発生した水田の状態

A: 凹部で見られた欠株 (2016年8月25日撮影),

B: 凹部で観察されたスクミリンゴガイ (2016年8月25日),

C: 凸部で観察された雑草 (2016年10月3日)。

## 2. 益城町の水田での調査

### 1) 調査水田の特徴

調査水田は、写真10Aに示したとおり葉色の濃い部分と薄い部分が交互に現れていた。調査を行った水田周辺でも、葉色の濃い部分と薄い部分が縞状になっている水田が見られた(写真10B)。第4図



写真10 益城町の葉色の濃い部分と薄い部分が縞状に現れた水田

A: 調査水田の葉色むらの発生状態(2016年10月3日撮影)、  
B: 調査水田周辺の葉色むらの発生状態(2016年10月3日撮影)。



写真11 調査水田の不陸と葉色むらの関係  
2016年10月3日撮影。

には、調査水田の葉色の濃い場所と薄い場所の位置関係を示した。緑色に塗りつぶした部分は葉色が濃い部分、塗りつぶしていない部分は葉色が薄い部分である。写真11では、葉色の薄い部分は田面が高いため水がかかっていないが、葉色の濃い部分は登熟期の後期に入っているにも関わらず田面が低いいため水が溜まっている。葉色の濃い部分と薄い部分が、それぞれ田面の凹部と凸部に対応していることが確認できた。

第5図には畦畔際のイネの葉色値を示した。葉色の濃い部分は、SPAD値で28.9～49.1、薄い部分は18.8～40.7であった。SPAD値は凹部で高く、凸部で低かった。水田北側畦畔のイネのSPAD値は、南側畦畔の値に比べて高い傾向が見られた。これは、水田が南から北に向かって低くなっていることを反映した結果であると考えられた。

### 2) 水稻の生育特性

生育調査の結果、葉色の濃い凹部の株当たりの草丈と穂数は、葉色の薄い凸部に比べて大きい傾向が見られた(第5表)。不陸が発生した秋津地区の水

第5表 益城町の調査圃場における水稻の成熟期の生育調査結果

調査点	草丈 (cm)	穂数 (本/株)	SPAD
凹部①	90.7	36.2	36.9
凹部②	89.3	34.9	31.7
平均±標準偏差	90.0±1.0	35.5±0.9	34.3±3.7
凸部①	90.0	33.1	22.7
凸部②	86.6	28.6	17.6
平均±標準偏差	88.3±2.4	30.9±3.2	20.1±3.6
t検定 <sup>a)</sup>	ns	ns	*

a) \*5%水準で有意差あり,ns有意差なし。

田で栽培された水稻でも凹部で株当たり生育量が大きかったが(第1表)、益城町でも同様の結果が得られた。一方、SPAD値は凹部で34.3、凸部で20.1と有意に凹部の葉色は凸部に比べて高かった。収量は粗玄米収量で凹部が358 g/m<sup>2</sup>、凸部で430 g/m<sup>2</sup>と凸部は生育量が小さいにも関わらず収量は高い傾向が見られ、精玄米収量では有意に凸部が高かった(第6表)。欠株率を見ると凹部は21.3%と凸部の2.4%に比べて高く有意差が見られた。凹部で収量が低かったのは、欠株により稲株が少なかったためと考えられる。

凹部で欠株が多かったのは、秋津地区の調査

第6表 益城町の調査圃場における水稻の収量と収量構成要素

調査点	粗玄米収量 <sup>a)</sup> (g/m <sup>2</sup> )	精玄米収量 <sup>a), b)</sup> (g/m <sup>2</sup> )	籾数 (粒/m <sup>2</sup> )	穂数 (本/m <sup>2</sup> )	1穂籾数 (粒)	登熟歩合 (%)	千粒重 <sup>a), b)</sup> (g)	欠株率 (%)
凹部①	335	316	18325	323	56.7	88.4	19.4	25.9
凹部②	381	364	19463	346	56.3	88.0	21.2	16.7
平均±標準偏差	358±33	340±34	18894±805	335±16	56.5±0.3	88.2±0.3	20.3±1.2	21.3±6.5
凸部①	435	407	22814	380	60.1	87.3	20.4	4.8
凸部②	425	408	20688	340	60.8	93.8	20.9	0.0
平均±標準偏差	430±7	407±1	21751±1503	360±28	60.4±0.5	90.6±4.6	20.6±0.4	2.4±3.4
t検定 <sup>c)</sup>	ns	*	ns	ns	**	ns	ns	*

a) 粗玄米収量, 精玄米収量および千粒重は玄米水分含量 15%として計算。

b) 精玄米収量, 千粒重は 1.8mm の篩目を通して測定。

c) \*\*1% 水準で有意差あり, \*5% 水準で有意差あり, ns 有意差なし。

水田と同様に水管理を凸部にも水がかかるように行うため凹部で水深が深くなりやすく、それにより苗は移植後水没した状態となり枯死しやすかったためと考えられた。また、写真 12 に示したように田面上ではスクミリングガイも見られた。スクミリングガイの食害を回避するた



写真12 調査水田の凹部で観察されたスクミリングガイ  
2016年10月3日撮影。

めには浅水で管理する必要があるが（九州沖縄農業研究センター生産環境研究領域虫害グループ）、田面の高低差が大きいため水管理が難しく、常に湛水状態となりがちな凹部ではスクミリングガイによる食害を受けやすく、一層欠株が多くなったと考えられた。

食味に大きな影響を与える玄米タンパク含有率は、葉色の濃い凹部で 7.7%、葉色の薄い凸部は 6.8% と、凹部は凸部に比べて玄米タンパク含有率が高い傾向が見られた（第7表）。玄米タンパク含有率は、現場での栽培管理の指針として、食味との兼ね

第7表 益城町の調査圃場における水稻の玄米タンパク含有率

地点	玄米タンパク含有率 <sup>a)</sup> (%)
凹部①	7.9
凹部②	7.5
平均±標準偏差	7.7±0.3
凸部①	7.1
凸部②	6.4
平均±標準偏差	6.8±0.5
t検定 <sup>b)</sup>	ns

a) 玄米タンパク含有率は水分含量15%として計算。

b) ns有意差なし。

合いで 6.5% 以下を目標値としている地域が多い（金井ら, 2014）。この値と比べても、凹部の玄米タンパク含有率はかなり高いことがわかる。玄米タンパク含有率は、登熟期の葉色と高い相関のあることがわかっていることから（松田ら, 2011）、凹部で玄米タンパク含有率が高かったのは登熟期の葉色が濃かったためと考えられる。写真 13A, 13B には熊本地震直後と 1974 ~ 1978 年に撮影された益城町から嘉島町にかけての航空写真を示した。過去の写真 13B では、調査水田周辺は短冊状の水田とクリークが交互に配置されている様子が確認できる。秋津地区周辺の圃場基盤整備事業に関する資料によれば（秋津飯野土地改良区, 1996）、基盤整備前は航空写真で確認されたような、水田とクリークが配置されていたことが記述されている。過去の航空写真や基盤整備に関する資料から、水田で発生した不陸の凸部と凹部は、それぞれ基盤整備前の水田とクリークの配置に対応していると考えられる（石塚ら, 2019）。衛星画像の解析で、基盤整備前に河川であった水田の葉色は、周辺の水田に比べて葉色が濃いことが確



写真13 益城町～嘉島町にかけての航空写真

A：地震直後の2016年4月16日に撮影された航空写真，B：1974～1978年に撮影された航空写真。黄色のラインで囲んだ部分が調査地域。国土地理院地理院地図にマーキング，スケールを加えて作成。

第8表 益城町の調査圃場における水稻の玄米外観品質

調査点	整粒	乳白粒	基部未熟粒	腹白粒	青未熟粒	胴割粒	その他未熟粒
凹部①	44.2	6.3	1.6	4.7	0.0	0.1	36.6
凹部②	57.7	4.2	0.4	3.4	0.2	0.0	30.0
平均±標準偏差	51.0±9.5	5.3±1.5	1.0±0.8	4.1±0.9	0.1±0.1	0.1±0.1	33.3±4.7
凸部①	58.3	4.2	0.7	4.6	0.0	0.0	28.4
凸部②	66.2	4.6	1.6	2.8	0.0	0.0	21.6
平均±標準偏差	62.3±5.6	4.4±0.3	1.2±0.6	3.7±1.3	0.0±0.0	0.0±0.0	25.0±4.8
t検定 <sup>a)</sup>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

単位は%。

a) ns 有意差なし。

認されている（安積，2011）。河川とクレークの違いはあるが，基盤整備前の地表面の状態が水稻の葉色に影響を及ぼしていると考えられた。

玄米外観品質については，凹部でその他未熟粒が多く，整粒が少ない傾向が見られた（第8表）。欠株の多い場合は，疎植状態となって遅発分げつを招

きやすいことに（写真12），一因があるのではないかと考えられた。

調査水田の水稻の移植は，およそ6月下旬，出穂期は8月下旬と通常年とほぼ同じであった。収穫は通常年は10月中旬に行われるが，当年は10月下旬になっても（成熟期調査は10月30日に実施）収穫

は行われていなかった。不陸の発生により排水が難しくなったことが収穫作業を遅らせた原因と考えられる。

調査水田の凸部では雑草が確認された。周辺の不陸の発生した水田の凸部でも雑草が繁茂していた(写真14)。写真中の雑草はアゼガヤと思われる。不陸の凸部では除草剤の効果が低下し雑草管理も難しいことが確かめられた。



写真14 益城町の水田で観察された雑草  
2016年10月3日撮影。

### 3. 阿蘇市の水田での調査

#### 1) 調査水田の特徴

阿蘇市の調査水田では、亀裂、不陸、液状化、畦畔の損壊などの外観上の被害は見られなかった。しかし、農作業を始めると代かき時、移植時に漏水の程度が大きく水を貯めることが難しかったことを営農者への聞き取り調査で確認した。この水田の減水深は、丸山・伊川(2019)に記されているように260mm/日に達し、土地改良の目標とする減水深15～25mm/日(農業土木学会, 2000年)と比べてもかなり大きな値であった。外観被害は見られないが、水田の地下部が被害を受け漏水が起こっているものと推察された。この水田では、電気探査によって、漏水が畦畔の地下部で起こっていることを示唆する結果が得られている(井上ら, 2019)。

なお、調査水田の標高は499mである。標高が高く冬期の気温が低いため、秋津地区、益城町の調査水田で見られた寒さに弱いとされるスクミリングガイは確認されなかった。

#### 2) 水稻の生育特性

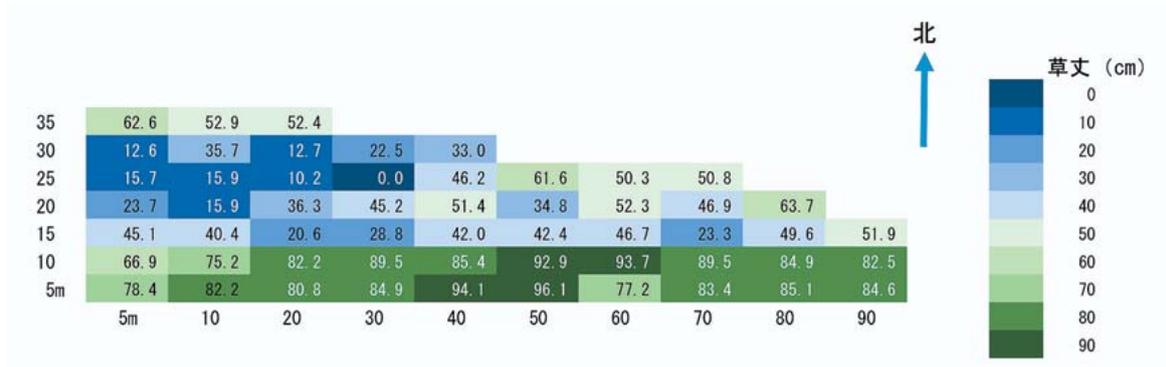
写真15A, 15Bは、水稻の生育初期にあたる2016年7月28日に撮影されたものである。

水田の水口側を撮影した写真15Aを見ると、田面



写真15 阿蘇市の調査水田における水稻の生育の変化

A:2016年7月28日撮影(水口側), B:2016年7月28日(水尻側), C:2016年8月22日(水口側), D:2016年9月15日(水口側)。



第8図 阿蘇市の調査圃場における出穂期の草丈 (cm) の分布  
2016年9月15日測定。

に水が貯まっているのが確認できる。しかし、水口から遠い水尻側を撮影した写真15Bでは田面に水がかかっていない。水口から遠いためかんがい水は途中で浸透してしまい水尻側まで十分な水が行き渡らないものと考えられた。また、生育むらが見られ場所によっては稲株が見当たらない。移植後、十分な水を貯めることができないため枯死したものと考えられる。なお、写真中の田面の土壌が赤いのは地震による影響ではなく、かんがい水として利用している水に鉄分が多く含まれ、酸化した鉄が土壌に蓄積したためと考えられる（小川ら、2006）。写真15Cおよび15Dは、写真15Aと同じく水口側から、それぞれ幼穂形成期頃の8月22日、出穂期直後の9月15日に撮影されたものである。写真15Cでは雑草はあまり目立たないが、写真15Dでは雑草が水田を被っている。また、水稻の生育は十分な生育量に達していないように見える。

第8図には出穂期直後の9月15日に調査した水田内の草丈分布を示した。水田内で相対的に草丈が大きい場所は、第6図に示した起点(0m, 0m)から北へ5mと10mの東西ライン上で、最も高い草丈は96.1cmであった。漏水の程度は大きいものの、水口に近いためある程度の水が供給されたためと考えられる。水口から遠い場所では、かんがい水が行き渡らないため草丈は40cm以下の地点が多く、調査点によっては稲株が確認できなかった。このように草丈からみても、水田全体で生育量が小さく生育むらが大きいことがわかる。

水稻の生育不良、生育むらの他、水田では雑草の繁茂が目立った。写真16には、水田で目立った代表的な雑草を示す。写真16Aに示した雑草はタイヌビエ（イネ科）、写真16Bはクサネム（マメ科）である。

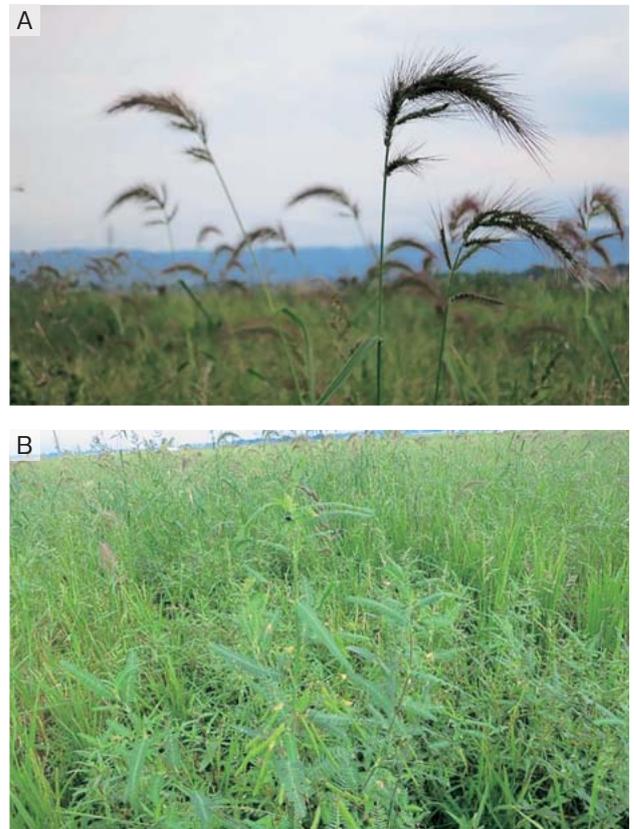


写真16 阿蘇市の調査水田で観察された雑草  
2016年9月15日撮影。A：タイヌビエ，B：クサネム。

#### V. 被災した水田で水稻を栽培する場合の対応 および対策

今回の調査では、不陸の発生により凹部と凸部で水稻の生育、収量に差が表れることが明らかになった。また、水田内の高低差が大きいため水管理が難しく、凹部では深水による苗の枯死、スクミリンゴガイの食害、凸部では雑草の繁茂が観察された。漏水の程度が大きい阿蘇市の水田では、水稻の生育が劣り雑草が繁茂した。益城町の水田では、凹部で水稻の葉色が濃く玄米のタンパク含有率が高かった。

このような水田で水稻を栽培する際には、通常の水田とは異なる水管理、肥培管理、雑草防除、スクミリングガイの被害回避および防除が必要である。

### 1. 具体的な対応

#### 1) 不陸が発生した水田でのスクミリングガイの被害回避および防除

スクミリングガイの被害回避および防除に関しては、地震により被害が発生した水田でも、基本的に通常の方法と同様であると考えられる。そこで、水田の被災状況を踏まえた上で農研機構九州沖縄農業研究センターホームページ <http://www.naro.affrc.go.jp/karc/applesnail/> (生産環境研究領域虫害グループ, 2013) に示されている被害回避および防除方法を基に、被災水田でのスクミリングガイの対策について述べる。

地震で不陸が発生した水田では水管理が難しいため、スクミリングガイの有効な被害回避方法である水深をできるだけ浅くする耕種的な方法の適用が難しいことから、①薬剤等の利用、②中苗(5葉期以上、不完全葉数える)の利用が主な柱となる。

使用する薬剤例として栽培管理時に使用する剤は、毒餌(ベイト剤)としてメタアルデヒド粒剤(商品名スクミノン)、貝による除草効果を期待する剤として、貝の活動を抑えるチオシクラム粒剤(スクミハンター)、特別栽培米に利用可能で使用時期、使用回数に制限なしの剤として燐酸第二鉄(スクミンベイト)があげられる。また、移植前、収穫後に処理し、貝の密度低減効果のある石灰窒素の利用が有効であることが確かめられている。

#### 2) 不陸が生じた水田での移植直後の水深管理

凸部にも水を行き渡らせようとすると、凹部の水稻は常に水没した状態となる。そのため、苗が小さい時には、枯死する恐れがあるためきめ細かい水管理を行う必要がある。水管理が行いやすいように、また前述したようにスクミリングガイの食害を低減させるためにも、ある程度の大きさに達した中苗を利用することも有効であると考えられる。

#### 3) 不陸が生じた水田での葉色むら、玄米の高タンパク化に対する対応

玄米タンパク含有率が高くなりやすい凹部では施肥時に窒素肥料の施用量を少なくし、凸部で通常の施用量とするなどの調整を行い、品質むらを改善させる。

#### 4) 減水深の大きい漏水田への対応

漏水田での漏水防止のために一般的によく利用されているベントナイトを施用する。ベントナイトは吸水すると膨潤し土壌の透水性を低下させる効果がある。施用量は700～1,000kg/10aである。

#### 5) 不陸が生じた水田、漏水の程度が大きい水田における雑草防除

雑草防除でも、通常雑草管理手順を基にした被災した農地での雑草防除方法について述べる。まず、剤の効果を高めるために、可能な限り水田の均平化と漏水対策を行った上で、通常の一発処理除草剤を散布する。その後発生した雑草に対しては、雑草の種類に応じて茎葉処理除草剤を選択し、落水状態で適期に散布(必要に応じて複数回)する、といった流れが雑草防除の指針である(住吉ら, 2007)。

##### (1) 落水条件での茎葉処理剤の使用

効果面からは粒剤よりも液剤(乳剤等も含む)タイプの使用が望ましい。このタイプの茎葉処理除草剤を効果的に使用する。

- i) 液剤、あるいは乳剤を水で希釈して、噴霧器で散布する(茎葉処理)。
- ii) 落水状態(一部の除草剤では極浅水状態でも可)で散布し、2-3日そのままの状態を保つことで除草効果が安定する。

##### (2) 使用する薬剤例と使用時期

- i) シハロホップブチル乳剤(商品名クリンチャーEW)  
移植後20日～ノビエ6葉期まで(イネ科雑草対象)
- ii) シハロホップブチル・ベンタゾン(クリンチャーバスME)  
移植後15日～ノビエ5葉期まで(イネ科雑草・広葉雑草対象)
- iii) ペノキススラム乳剤(ワイドアタックSC)  
移植後20日～ノビエ5葉期まで(イネ科雑草・広葉雑草対象)

## 引用文献

- 1) 秋津飯野土地改良区(1996) 豊穰～圃場整備事業完成記念～.236p. 秋津飯野土地改良区.
- 2) 安積大治(2011) 宇宙からお米のおいしさを見分ける. 北海道立総合研究機構 道総研ランチャライ

- ムセミナー資料（第15回 GISで「見分ける」）.
- 3) Emi Kameoka, Roel Rodriguezc Suralta, Shiro Mitsuya and Akira Yamauchi (2015) Matching the expression of root plasticity with soil moisture availability maximizes production of rice plants grown in an experimental sloping bed having soil moisture gradients. *Plant Prod. Sci.* 18:267—276.
  - 4) 藤森新作・若杉晃介・谷本 岳 (2006) 平成16年(2004年)新潟県中越地震による水田の被害. *農業工学研究所技報* 205:17-24.
  - 5) 井上敬資・若杉晃介・脇山恭行・野見山綾介・古賀伸久・新美 洋・井原啓貴・山口典子・山根 剛・中野恵子・田中誠司 (2019) 平成28年熊本地震が影響を及ぼした農地の地下部調査. *九州沖縄農研研究資料* 95:18-29.
  - 6) 石塚直樹・岩崎巨典・坂本利弘 (2019) ドローンをを用いた平成28年熊本地震が地表に及ぼした影響の調査-3次元モデリング解析を活用した不陸評価-. *九州沖縄農研研究資料* 95:3-9.
  - 7) 金森伸彦 (2017) 平成28年熊本地震における農業被害と普及組織の取り組み. *日作九支報* 83:57-60.
  - 8) 金井政人・佐藤 徹・東 聡志 (2014) 出穂後葉色値からのコシヒカリ玄米タンパク質含有率の推定. *北陸作物学会報* 49:25-27.
  - 9) 小谷俊之・松村洋一・黒田 晃 (2006) 出穂前後の遮光処理が水稻品種「ゆめみづほ」の収量および品質に及ぼす影響. *石川県農業総合研究センター研究報告* 27:1-9.
  - 10) 国土地理院 (2016) 平成28年熊本地震の震源断層モデル. *地理院地図資料* :1-3.
  - 11) 小山拓志・青山雅史 (2017) 地理学の立場からみた2016年熊本地震における液状化被害分布と土地条件. *2017年度日本地理学会春季学術大会発表要旨*:セッション ID S0102.
  - 12) 熊本県農林水産部農業技術課農業革新支援センター (2016) 平成28年熊本地震の発生に伴う地下水質やほ場基盤の変化に対する注意(増補). *農業革新支援センター情報* 9:1-10.
  - 13) 丸山篤志・伊川浩樹 (2019) 平成28年熊本地震により亀裂や不陸が生じた水田圃場の減水深の特徴. *九州沖縄農業研研究資料* 95:10-17.
  - 14) 松田 晃・浅野目謙之・遠藤昌幸・柴田康志 (2011) 玄米タンパク質含有率と食味 登熟期葉色の関係. *第231回日本作物学会講演会講演要旨集* :236-237.
  - 15) 松村 修・千葉雅大 (2006) 液状化現象による噴砂の作物生育への影響解明と栽培管理指針の策定. *中央農業総合研究センター研究資料* 6:26 - 29.
  - 16) 農業土木学会 (2000) 2.2 圃場整備計画. *農業土木ハンドブック* :118-146.
  - 17) 小川啓太・河谷千華・石橋純一郎・千葉 仁 (2006) 阿蘇カルデラにおける赤水の硫黄同位体組成. *2006年度日本地球化学会第53回年会講演要旨集*:セッション ID 1P06.
  - 18) 生産環境研究領域虫害グループ (2013) スクミリングガイ. *農業・食品産業技術総合研究機構九州沖縄農業研究センター*: <http://www.naro.affrc.go.jp/karc/applesnail/>.
  - 19) 住吉正・小荒井晃・保田謙太郎 (2007) アゼガヤの生育に対する湛水及びシハロホップブチルの効果. *九州沖縄農業研究センター2005年の成果情報*: <http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/karc/2007/konarc07-12.html>.
  - 20) 若杉晃介・藤森新作 (2008) 平成19年(2007年)能登半島地震による農地被害調査. *農村工学研究所技報* 208:67-74.

## Properties of Rice Growth Cultivated on Paddy Fields Damaged by the 2016 Kumamoto Earthquake

Yasuyuki Wakiyama, Seizaburo Sakae<sup>1)</sup>, Seiji Tanaka<sup>2)</sup>, Shohei Shibata, and Ryosuke Nomiyama

### Summary

The 2016 Kumamoto earthquake caused damages, namely, fissures, upheavals, and subsidence, on the surface of many paddy fields. We conducted investigation to gain knowledge of the rice-growth properties cultivated in these damaged paddy fields. The obtained knowledge can provide useful information for cropping in the damaged paddy field in the following years.

A difference in the rice growth in the paddy field with upheaval and subsidence damages was observed. The growth of rice cultivated in areas with subsidence in the paddy fields in Akistu and Mashiki in Japan revealed higher plant length and greater tiller number per hill in a heading time than that of the rice planted in areas with upheaval. With regard to the rice growth in Akistu, the rice yield in areas with subsidence was higher than that in areas with upheaval. Meanwhile, the rice yield in areas with subsidence in Mashiki was lower. The reason for the lower yield in areas with subsidence could be due to the vacant hills. The rice planted in areas with subsidence was submerged in water because of the short plant length during the early stage. The rice under the submerged circumstance could die. Consequently, vacant hills occurred in areas with subsidence. Another possible reason for the vacant hills could be the result of feeding damage caused by Apple snails. Overgrowth of weeds was observed in areas with upheaval in the paddy field in Akistu and Mashiki. A high SPAD value of the flag leaf and a high protein content in rice grain were observed in the rice cultivated in areas with subsidence in Mashiki. This result might be related to the deep water depth and the previous placement of creeks and paddy fields in this area. No visible damage was observed in the paddy field in Aso, Japan. However, the paddy field could not be filled with irrigation water. The rice growth was poor, and rice hills were sparse in this paddy field. We also found a high density of weeds.

We need precise water management to prevent death of rice in the hills, control weeds, and control the Apple snails using pesticide to cultivate rice in these damaged paddy fields. Management of nitrogen fertilization is needed to control the protein content in the rice grain. The paddy field in areas where fissure occurred in the ground needs to recover.

Keyword: 2016 Kumamoto earthquake, Rice, Upheaval, Subsidence, Leakage, Weed, Apple snail