

# 平成28年熊本地震における水稲の代替作物として作付けされた大豆の生育特性

野見山綾介・松尾直樹<sup>1)</sup>・榮誠三郎<sup>2)</sup>・増田欣也<sup>1)</sup>

(2018年4月3日 受理)

## 要 旨

野見山綾介・松尾直樹・榮誠三郎・増田欣也：平成28年熊本地震における水稲の代替作物として作付けされた大豆の生育特性。九州沖縄農研研究資料 95：67-76, 2019.

平成28年熊本地震によって、熊本市東区秋津地区の農地では灌漑施設が破損し、水稲代替作物として大豆が大面積で栽培されることとなったが、多くの農地では地盤沈下に伴い、土面には凹凸（不陸）が生じた。そこで、大豆の栽培面積が拡大に伴う播種遅れと地震により生じた不陸が、大豆の生育および収量に及ぼした影響を調査した。晩期に播種された大豆は、主茎長および主茎節数の基本栄養生長量が減少した結果、稔実莢数が減少した。しかし、1莢内粒数が増加し、収穫指数が高まることで、収量は適期に播種された大豆と同水準に維持された。土面に不陸が生じた圃場で栽培された大豆については、7月下旬から8月までの栄養生長期の降水量は非常に少なかったため、収穫本数、主茎長、主茎節数および分枝数など基本栄養生長量に関しては、土面の凹凸で有意な差は認められなかった。しかし降水量が非常に多かった9月以降の生殖生長期には、凹部において葉色の低下や日中の葉温上昇が認められたことから、凹部では湿害が発生し、根粒の窒素固定能や根の吸水能が低下した可能性が推察された。そして、収穫時において凹部では青立ち個体が多発し、収量は稔実莢数の減少を通して半減した。

キーワード：水稲代替作物、大豆、晩期播種、熊本地震、不陸

## I. 緒 言

秋津地区の大豆栽培面積は例年であれば50ha程度であるが、熊本地震によって灌漑施設が破損したため水稲の作付けができず、その代替作物として大豆が2016年はこれまでの面積の3倍である約150haで栽培されることになった。栽培面積が拡大すると、播種作業に要する日数は従来と比べて増加する。北部九州における大豆品種「フクユタカ」の播種適期は7月10日前後で、これよりも播種が遅延すると開花期から子実肥大初期における生育量の減少を通して減収する可能性が高まる（内川ら、2003）。熊本県（2009）が行った栽培試験によると、

7月下旬まで播種が遅延した場合、適期播種できた時と比べて約14%減収したことが報告されている。さらに、7月10日前後は梅雨の末期と重なるため作業できない日が多いことも考えると、秋津地区では大豆栽培面積の拡大に伴う播種作業の遅れが生じ、減収することが懸念された。また、秋津地区では熊本地震による地盤沈下に伴い多くの農地の土面に凹凸（不陸）が生じた。不陸が生じた農地は、一般的に農地災害復旧工事あるいは市町村が単独で行う災害復旧工事による均平化作業で復旧されるが、不陸の復旧工事が播種作業までに間に合わなかったため、土面は均平化されることなく大豆が栽培された。小柳ら（2012）が東北地方太平洋沖地震で不陸

農研機構九州沖縄農業研究センター生産環境研究領域：〒861-1192 熊本県合志市須屋2421

1) 農研機構九州沖縄農業研究センター水田作研究領域

2) 熊本県農業研究センター農産園芸研究所

が生じた大麦農地で調査を行った際、土面が低くなった位置で湿害が繰り返し発生したと報告しているとおり、秋津地区でも不陸が大豆の生育に影響を及ぼすことが考えられた。本研究では、熊本地震の発生に伴い大豆の栽培面積が拡大したことによる播種日の早晚と地震により生じた不陸が、大豆の生育および収量に及ぼした影響を調査した。

本調査の実施にあたりご協力頂きました農事組合法人秋津営農組合、秋津飯野土地改良区、JA 熊本市に感謝申し上げる。また、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。本研究資料で報告する内容のうち、土面の不陸が大豆栽培に及ぼした影響については、日本作物学会紀事 87 巻 2 号で公表されている。

## II. 調査方法

### 1. 播種日の異なる圃場での生育調査

近隣に位置し、播種日が異なる 2 つの圃場を調査対象とした。いずれの圃場も前作には小麦品種「ミナミノカオリ」が 2016 年 6 月上旬まで栽培されており、小麦収穫後は耕起を行ったのちに大豆品種「フクユタカ」が播種された。それぞれの圃場の播種日は、2016 年の秋津地区における大豆播種期間のうち早期にあたる 7 月 6 日と、末期にあたる 7 月 22 日であった。熊本県 (2009) では 7 月下旬の「フクユタカ」の播種を晩期播種としていることを考慮すると、本調査における 7 月 6 日は適期播種に、7 月 22 日は晩期播種に分類された。面積は適期播種の圃場 (以下、適播区と略す) で 23a、晩期播種の圃場 (以下、晩播区と略す) で 28a であった。播種作業は正転ロータリシーダを用いて条間 75cm、株間 15cm、2 粒播きで行われた。基肥および追肥はともに施用されず、中耕・培土作業およびカメムシ防除作業は熊本県の指導に準じて適期に行われた。

それぞれの圃場で播種が行われた後、7 月 28 日から約 1 か月毎に計 4 回、圃場の脇から大豆の生育状況を写真撮影した。

大豆が成熟期を迎えた 11 月 4 日に刈り調査を実施した。調査はそれぞれの播種区で 3 反復を設けて実施した。1 反復につき、4.2 ~ 4.7m<sup>2</sup> 刈りした。採取株は十分に乾燥させたのち、生育が中庸な

約 10 株について、主茎長、主茎節数、分枝数、稔実莢数、1 莢内粒数および 100 粒重を調査した。全ての採取株については地上部の全重、粗子実重および整子実重を調査した。粗子実収量および整子実収量は各粒重を刈り取り面積で除して算出した。粗子実収量を地上部全重で除して収穫指数を評価した。また、整子実については、7.9mm、7.3mm、6.7mm、6.1mm、5.5mm、4.9mm の丸目ふるいで分けて、ふるいの上に残る粒の全粒に対する重量比の分布 (粒度分布) を調査した。そのうち、直径 7.9mm 以上の大粒と直径 7.3mm ~ 7.9mm の中粒については等級評価も行った。

### 2. 土面に不陸が生じた圃場における生育調査

激しい不陸が生じた 54a の水田圃場を調査対象とした。前作には小麦品種「ミナミノカオリ」が 2016 年 6 月上旬まで栽培された。小麦収穫後に耕起を行ったのち、石塚ら (2018) によって圃場の不陸量が計測された。7 月 16 日から 20 日のいずれかの日において大豆品種「フクユタカ」が播種された。播種作業は正転ロータリシーダを用いて条間 75 cm、株間 15cm、2 粒播きで行われた。基肥および追肥はともに施用されず、中耕・培土作業およびカメムシ防除作業は熊本県の指導に準じて適期に行われた。

大豆の子実肥大期である 9 月 27 日に、群落の葉色を観察するために、ドローン (Phantom3 Professional, DJ) に標準装備のカメラ (FC300X) を装着し、上空 50 m から圃場を空撮した。それから 10 日後の 10 月 7 日に、土面の凹部と凸部におけるダイズ生育調査を実施した。調査は凹部・凸部ともに 3 反復を設けて実施した。1 反復につき生育が中庸な連続 10 株を選定し、立毛での主茎長、主茎節数および葉色を調査した。葉色は、葉緑素計 (SPAD-502, コニカミノルタ) で計測した主茎最上位 3 節の複葉の SPAD 値の平均値とした。さらに同日 12 時 50 分に、放射温度計 (FLIR-E8, FLIR) を用いて、南東側の畦畔から群落の熱画像を撮影した。解析ソフト (FLIR Tools, FLIR) を用いて取得した熱画像から凹部と凸部におけるダイズ群落の葉温の平均値を求めた。熱画像撮影時は晴天であった。撮影時、地際から高さ 1.5 m の気温および湿度を温湿度センサ (3641 humidity logger, HIOKI) で計測した。

大豆が成熟期を迎えた11月17日に坪刈り調査を実施した。調査は凹部・凸部ともに3反復を設けて実施した。1反復につき凹部と凸部が隣接する3地点においてそれぞれ3.0m<sup>2</sup> (2.0 m × 1.5 m) 坪刈り調査を行い、3地点の平均値を各反復の代表値とした。採取株は十分に乾燥させたのち、生育が中庸な10株について、主茎長、主茎節数、分枝数、稔実莢数、1莢内粒数および100粒重を調査し、残りの株については脱穀後、病虫害粒を除いて整子実重を調査した。整子実収量は整子実重を刈り取り面積で除して算出した。また、収穫直前には各地点における立毛連続10株について、青立ち程度の判定を行った。判定は、古屋・梅崎(1993)の成熟整合性程度の簡易判定法に準じた。この基準では、成熟期の地上部の青立ち程度を簡便に5段階に分けており、1に近いほど茎の緑色が残り青立ちが著しく、5に近い

ほど葉は良く落葉し茎が品種固有の色になって成熟が正常であることを示す。

### 3. 気象データと統計解析

栽培期間中の気象要素がダイズの生育・収量に及ぼす影響について考察するために、脇山ら(2018)の報告を参考にした。生育調査および収穫時の調査結果、ならびにドローンによる不陸量計測結果についてはStudentのt検定を行った。

## Ⅲ. 結果

### 1. 播種日の異なる圃場での大豆収量

適播区と晩播区のそれぞれ大豆生育の推移を第1図に示す。いずれの撮影日における写真からも、適播区では晩播区と比べ生育ステージが早く進行していたことが推察された。



第1図 適期(7月6日)播種と晩期(7月22日)播種した圃場における大豆品種「フクユタカ」の生育の推移

第1表 7月6日ならびに7月22日に播種された大豆品種「フクユタカ」の主茎長、主茎節数、分枝数、収量構成要素、収量、全重および収穫指数

播種期	播種日	主茎長 (cm)	主茎節数 (no. plant <sup>-1</sup> )	分枝数 (no. plant <sup>-1</sup> )	稔実莢数 (pods m <sup>-2</sup> )	1 莢内 粒数 (seeds pod <sup>-1</sup> )	100 粒重	整子実 収量	粗子実 収量	地上部 全重	収穫指数
適期	7月6日	54.4±0.6	14.8±0.1	5.2±0.3	765±24	1.62±0.01	28.6±1.1	302±24	341±21	695±37	49.1±0.6
晩期	7月22日	44.5±1.2	13.3±0.3	4.4±0.3	687±11	1.70±0.02	28.8±0.5	330±22	342±22	587±43	58.5±1.0
t 検定 <sup>a)</sup>		**	**	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	**

a) \* および \*\* はそれぞれ 5% および 1% 水準で有意差があることを, ns は有意差がないことを示す。

第2表 7月6日ならびに7月22日に播種された大豆品種「フクユタカ」の粒度分布および等級

播種期	播種日	ふるい目の大きさ (直径 mm) 別の粒度 (%)						等級 <sup>b)</sup> (大粒)	等級 <sup>b)</sup> (中粒)
		> 7.9	> 7.3	> 6.7	> 6.1	> 5.5	> 4.9		
適期	7月6日	38.5±8.4	45.3±4.9	12.7±3.2	3.1±0.5	0.4±0.0	0.0±0.0	1.0±0.0	1.67±0.3
晩期	7月22日	39.4±4.7	48.4±3.7	10.1±1.3	1.8±0.4	0.3±0.0	0.0±0.0	1.0±0.0	1.0±0.0
t 検定 <sup>a)</sup>		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

a) ns は有意差がないことを示す。

b) 等級は 1 (1 等) ~ 3 (3 等) の 3 段階で表示。



第2図 農地に生じた不陸量の解析結果 (野見山ら, 2018)

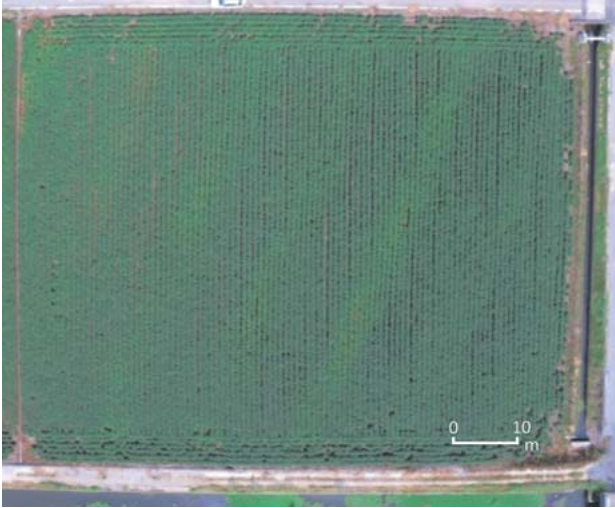
成熟期に実施した坪刈り調査においては、晩播区では適播区と比べて主茎長および主茎節数が減少したが、分枝数には有意差は認められなかった (第1表)。収量構成要素のうち、100粒重には播種日の違いによる有意差は認められず、稔実莢数は晩播区で減少したものの、1莢内粒数が増加することで整子実および粗子実の収量は適播区と同水準に維持された。地上部全重は播種日の違いによる有意差は認められなかったが、収穫指数は晩播区で高かった。粒度分布は、いずれの粒度においても播種日の違いによる有意差は認められなかった (第2表)。どちらの播種区でも、大粒と中粒を合わせた粒度は80%を超えており、その等級に有意差は認められず、い

ずれも 1 等に格付けされた。

## 2. 土面の凸部と凹部における大豆収量

調査圃場の不陸については、平均標高を 0mm とすると、生育調査を実施した凸部と凹部の標高の平均値はそれぞれ +72mm と -138mm で高低差は 210mm であり、収量調査を実施した凸部と凹部は +66mm と -131mm で高低差は 197mm であった (第2図)。また、標高が低い土面では湿害のリスクが高まると考えられるが、平均標高よりも低い土面は圃場全体の 52.8% を占めていた。その割合は 0mm ~ -50mm が 18.3%、-50mm ~ -100mm が 16.4%、-100mm ~ -150mm が 12.1%、-150mm 以下が 6.0% であった。

大豆の子実肥大期に撮影した空撮写真においては、周囲と比べ葉色が薄い群落が波板状に見られた(第3図)。この葉色が薄い群落は、波板状に生じた土面の凹部と一致していたことから、凹部で葉色が淡くなったことが明らかになった。生育調査におい



第3図 不陸が生じた圃場で確認された葉色むら(野見山ら, 2018)

ては、主茎長と主茎節数は土面の凹部と凸部の違いによる有意差は認められなかったが、SPAD値は凹部が有意に小さく薄い葉色を呈していた(第3表)。日中の大豆群落の熱画像から、凸部に比べて凹部の葉温が顕著に上昇していた(第4図)。凹部と凸部の葉温はそれぞれ32.1℃と34.0℃で、凹部の葉温が有意に高かった(第3表)。なお、熱画像撮影時の気温は29.4℃、相対湿度は62.9%であった。

成熟期に実施した坪刈り調査においては、収穫本数、主茎長、主茎節数、分枝数および1莢内粒数は土面の凹部と凸部の違いによる有意差は認められなかった(第4表)。凸部と比べ凹部では、100粒重は有意に重くなったが、稔実莢数の減少に伴い整子実収量は半減した。収穫時の成熟整合性程度は凸部が有意に凹部を上回り、凸部における個体はほぼ完全に枯れ上がったのに対し、凹部では莢が熟色を呈しているにも関わらず茎葉は黄緑色である青立ち個体が目立った。また、生育調査を行った近隣の大豆圃場においても凹部では青立ち個体が多発してお

第3表 不陸が生じた農地の凸部と凹部で栽培された大豆品種「フクユタカ」の子実肥大期における主茎長、主茎節数、葉色および日中の葉温(野見山ら, 2018)

土面	主茎長 (cm)	主茎節数 (no. plant <sup>-1</sup> )	葉色 (SPAD値)	葉温 <sup>b)</sup> (℃)
凸部	36.1 ± 1.3	12.9 ± 0.1	45.7 ± 0.3	32.1 ± 0.1
凹部	38.1 ± 2.4	13.1 ± 0.1	37.8 ± 1.2	34.0 ± 0.1
t検定 <sup>a)</sup>	ns	ns	**	***

a) \*\* および \*\*\* はそれぞれ 1% および 0.1% 水準で有意差があることを、nsは有意差がないことを示す。

b) 葉温は赤外線カメラで計測した。撮影は2016年10月7日12時50分に行い、天気は晴天であった。



第4図 凸部と凹部における大豆の日中の葉温(野見山ら, 2018)

第4表 不陸が生じた農地の凸部と凹部で栽培された大豆品種「フクユタカ」の収穫時における収穫本数、主茎長、主茎節数、分枝数、収量構成要素、収量および成熟整合性程度（野見山ら，2018）

土面	収穫本数 (no. m <sup>-2</sup> )	主茎長 (cm)	主茎節数 (no. plant <sup>-1</sup> )	分枝数 (no. plant <sup>-1</sup> )	稔実莢数 (pods m <sup>-2</sup> )	1 莢内粒数 (seeds pod <sup>-1</sup> )	100 粒重 (g)	整子実収量 (g m <sup>-2</sup> )	成熟整合性 程度 <sup>b)</sup> (1 - 5)
凸部	9.9±0.2	42.2±0.2	13.8±0.2	5.5±0.2	509±48	1.60±0.01	26.8±0.1	217±19	4.8±0.0
凹部	10.0±0.2	42.4±0.7	13.7±0.2	5.1±0.1	240±6	1.54±0.03	29.2±0.2	108±2	2.5±0.1
t 検定 <sup>a)</sup>	ns	ns	ns	ns	**	ns	***	**	***

a) \*\* および \*\*\* はそれぞれ 1% および 0.1% 水準で有意差があることを、ns は有意差がないことを示す。

b) 成熟整合性程度は古屋・梅崎（1993）の方法に準じた。1 に近いほど茎の緑色が残り青立ちが著しく、5 に近いほど成熟が正常であることを示す。

り、その様子は遠観でも瞭然であった（第5図）。



第5図 秋津地区の大豆圃場（調査圃場とは異なる）における青立ち個体発生の様子

#### IV. 考察

##### 1. 播種作業の遅延が大豆収量に及ぼした影響

2016年の北部九州の梅雨期は6月4日～7月18日であったが、晴天が続いた7月4日～7日の間に大豆の播種作業が開始された。7月8日から梅雨明けまでは雨が続き、播種作業は中断され、梅雨明け後に再開された。7月8日～17日の間の総降水量は300mm以上にもなったため、7月6日に播種した適播区では苗立ちが心配されたが、第1図の写真より適播区・晩播区ともに苗成は良好であったことが推察された。梅雨明け以降は高温で多照な日が続く、栄養生長に好適な気象条件であった。播種日の早かった適播区においては、十分な栄養生長量を確保できたため、主茎長および主茎節数は晩播区と比べて増加しており、主茎節数の増加を通して稔実莢数が増加したものと考えられた。しかし、7月下旬から9月上旬にかけては少雨傾向となり、こ

の間の積算降水量は平年値の44%しかなかった。大豆は要水量が大きく（国分，2001）、特に開花期～子実肥大初期における乾燥ストレスは収量を大きく減少させる（Salter, 1962; Sionit and Kramer, 1977）。収量構成要素では、開花期～子実肥大初期に土壌が乾燥すると、粒の発育が停止し（加藤，1964）不稔実粒が多発することで、一莢内粒数は小さくなる傾向にあることが知られている（齊藤ら，1999）。内川ら（2003, 2004）を参考にすると、適播区と晩播区の開花期はそれぞれ8月中旬と8月下旬と推察された。降水量が多くなる9月の中旬までは土壌は乾燥傾向であったことを考えると、開花期～子実肥大初期の乾燥ストレスは適播区で大きいことが推察され、一莢内粒数が減少した要因と考えられた。また、池尻・高橋（2016）は播種適期が6月中旬の大豆品種「サチユタカ」を7月上旬に播種しても減収しなかったと報告しており、その要因を子実の生産効率が良くなり収穫指数が向上したためと考察している。本調査における大豆品種「フクユタカ」でも、晩播区で適播区よりも収穫指数が高くなっており、子実の生産効率が向上していたことが考えられた。すなわち、晩播区では適播区に比べて、主茎節数の減少に伴い稔実莢数が低下したものの、一莢内粒数と収穫指数が増加したことで減収しなかったといえる。

開花期～子実肥大初期の気温もまた、大豆の粒重に影響するといわれている（内川ら，2003）。松田ら（2011）は、子実肥大期の高温により百粒重が減少したことを報告している。大豆の粒重は粒径ときわめて高い相関をもつ（由田，1987）ことから、気温は粒度分布にも影響を及ぼすことが予想される。しかし、百粒重と粒度分布は播種期の違いによる有意差は認められなかったため、今回の調査区におい

ては子実肥大に気温は影響しなかったと推察された。また、熊本県病害虫防除所（2016）の報告によると、2016年度は紫斑病、ウイルス病、およびカメムシ害の発生は平年並みかやや少なかったと報告しており、このことが等級が高品質と格付けされた一因であると推察された。

## 2. 土面の不陸が大豆収量に及ぼした影響

土面の高低差は、生育調査地点において210 mm、収量調査地点において197 mmであった。これらは国が定める整備基準である圃場一筆内の高低差70 mm以内（農林水産省2015）よりも大きく上回っていた。また、ドローンによる不陸調査は耕起作業の後の行われたものの、圃場内には依然として大きな高低差が観測されていることから、耕起作業では不陸は十分には改善しなかったといえる。

大豆は播種後に土壌が過湿状態になると出芽・苗立ち不良を招きやすい（中山ら2004, Wuebker et al. 2001）。また、栄養生長期においては、土壌の過湿により根の呼吸能や根粒の着生・活性が低下し、主茎や分枝などの生長量は著しく減少する（杉本ら1988a, 1988b）。しかし今回の調査では、収穫本数、主茎長、主茎節数および分枝数には土面の凹部と凸部の違いによる差が認められなかった（第3表、第4表）。また気象条件も栄養生長期に当たる7月下旬～8月下旬の期間においては、日射量は平年よりも大きく降水量は少ない傾向であったため、凹部に滞水が生じなかった、あるいは滞水が生じても大気蒸発要求度が高いため消失する時間が早かったと推察される。このため、栄養生長期には凹部で湿害が起こらず、出芽・苗立ちおよび基本栄養生長量には不陸の影響はなかったと考えられる。

大豆が開花し生殖生長期に入った9月中旬以降は、降水量が平年と比べ非常に多かったため、標高が低く滞水が生じやすい凹部において湿害発生のリスクが高まった。大豆は過湿条件においては、根粒の着生数は減少するとともに（Sung, 1993）、土壌酸素濃度の低下により窒素固定能も低下するため（阿江ら, 1985）、固定窒素の供給量が著しく減少し、葉身の窒素含有量が減少する（杉本ら, 1990）。今回調査した葉身のSPAD値は凹部で凸部よりも低くなっていたことから（第3表）、凹部では湿害により根粒活性の低下が起こっていたと考えられる。荒木ら（2007）は、ダイズは湿害を受けると根

系の生長が抑制されるとともに、日中の気孔開度が低下することを報告している。今回の調査でも凹部の日中の葉温は周囲の群落に比べて高くなっていることから（第4図）、この時、根系が湿害によるダメージを受け吸水機能も低下していることが示唆された。このように、生殖生長期における窒素固定能および吸水機能の低下がダイズの乾物生産を制限したため、凹部では稔実莢数が減少し、収量が半減したものと考えられる（第3表）。Linkemer et al. (1998) は、ダイズの生育ステージのうち開花始～子実肥大始に湿害を受けると減収することを明らかにしており、同氏らの栽培試験における減収率は37%であった。今回の調査で減収率が約50%と高い値を示したのは、比較対象とした凸部は標高が高く排水されやすいが、凹部は標高が低く滞水しやすいという土面の特性と、湿害を受けた期間が長かったことが影響していたと考えられる。収量構成要素のうち100粒重は凹部で凸部よりも重くなったが（第4表）、これは莢数の低下を100粒重が補償して収量を保つように作用するダイズの生理的性質によるものである（Egli and Leggett, 1975）。凹部において収穫時に目立った青立ち個体は（第4表）、松田ら（2011）が生殖生長期に圃場が冠水するとダイズの青立ち個体が多く認められたと報告しているように、湿害によってもたらされたものである可能性が高い。

秋津地区における圃場の暗渠は不陸に伴い破損していたものが多かったとの情報を秋津飯野土地改良区から得た。調査圃場では確認されてはいないものの、不陸の程度が大きかったことから、暗渠が破損していた可能性が高い。そのため、暗渠破損による排水不良も凹部で湿害を助長した一因になったと考えられる。

## 3. 地震発生後の大豆栽培における留意点

大型地震によって水田地帯のパイプラインが破損した場合、水稻の代替として大豆が大面積で栽培される可能性が生じる。今回の調査では、栽培面積拡大の影響で晩播された大豆品種フクユタカは、適期に播種されたものと同様に収量は維持されたが、晩播ではフクユタカは減収する傾向にあるように（熊本県2009）、通常は栄養生長期の短縮により減収することが懸念される。この対応策として、晩播条件では栽植密度を増加させることで生育量を確保し

やすい狭畦密植栽培が減収を緩和するための対策技術として有効であることが指摘されている（熊本県2009）。しかし、狭畦密植栽培は無中耕・無培土で行うため倒伏を助長しやすいことに加え、適した条間・株間は品種によって異なるため、実践するにはそれらのことに留意しなければならない。

土面に生じる不陸については、均平化を栽培開始までに実施することが望ましい。代かき機で均平化を図った事例として北田ら（2009）は、能登半島地震で生じた土面の高低差は代かきによって170mmから80～140mm程度にしかならず不十分であったと報告している。一般に水を含んだ土壌は非常に重く移動させるのが困難なので、今回生じた不陸の均平化には乾いた状態の土を移動させることが望ましい。また、レーザーレベラーを用いれば運土作業と高精度な均平作業を同時に行うことができるので、少ない労力で復旧工事が可能となるが、凸部から凹部へ運土する際に表土層下に存在する心土が凸部でむき出しになる恐れがある。そのため、まず凸部の表土を剥いだ後で心土を凹部へ運搬・整地し、再度表土を戻して整地を行う工法を採用することが一般的であるが、これには多くの労力と時間を費やす。そこで近年では、従来工法よりも労力・時間を縮減できる工法として、レーザープラウとレーザーレベラーを組み合わせた反転均平工法が提案されている。反転均平工法では、レーザープラウにより凸部の表土と心土を反転させた後凹部へ運土し、再度レーザープラウで心土と表土を反転させ、最後にレーザーレベラーで整地を行う。村中（2008）はこの工法の利点を、従来工法の労力・時間の多くを占める表土剥ぎ作業を省略でき、大幅なコスト削減が可能となるとともに、レーザー管理による高精度な均平作業が行えるために、農家でも短時間に高精度な施工ができることであると報告している。均平化を行うための機械を導入できず、やむを得ず不陸が生じたまま大豆栽培を行う場合には、凹部における湿害対策を実施する必要がある。過湿条件下での出芽・苗立ちの向上には、播種時の種子処理（調湿、殺菌剤）が有効である（中山ら2004）。さらに、栽培期間における排水対策として外周明渠を徹底させるとともに、圃場の凹部に明渠を設けることも有効であると考えられる。

## 引用文献

- 1) 阿江教治（1985）大豆根系の生理特性と増収問題. 土肥誌 60:679-683.
- 2) 荒木英樹・坂口敏章・金田衣代（2007）過湿ストレス期およびストレス後におけるダイズの発育, 気孔開度と水関係. 日本作物学会中国支部研究集録 48:20-21.
- 3) Egli, D. B. and J. E. Leggett（1975）Rate of dry matter accumulation in soybean seeds with varying source-sink ratios. Agron. J. 68:371-374.
- 4) 古屋忠彦・梅崎輝尚（1993）ダイズ個体における成熟整合性の簡易判定法. 日作紀 62:126-127.
- 5) 池尻明彦・高橋肇（2016）ダイズ品種「サチユタカ」は7月上旬に播種しても6月中旬に播種したものに比べて百粒重が重く収穫指数が高くなることで減収しない. 日作紀 85: 10-15.
- 6) 石塚直樹・岩崎亘典・坂本利弘（2019）ドローンを用いた平成28年熊本地震が農地の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) 加藤一郎（1964）大豆における脱落花器及び不稔実粒の組織学的並びに発生学的研究. 東海近畿農業試験場研究報告 11:1-52.
- 8) 北田敬宇・源裕・高瀬裕章（2009）能登半島地震による被害水田の復旧対策. 石川県農総研研報 28:7-17.
- 9) 国分牧衛（2001）ダイズ多収化の生理学的アプローチ. 日作紀 70:341-351.
- 10) 熊本県病害虫防除所（2016）平成28年産大豆収穫物調査について.  
<http://www.jppn.ne.jp/kumamoto/H28/data/futusaku/daizusyuu.pdf>
- 11) 熊本県農業研究センター（2009）大豆「フクユタカ」を天候不順のため晩播する場合の収量・品質の安定化栽培技術.  
[http://www.pref.kumamoto.jp/common/UploadFileOutput.ashx?c\\_id=3&id=1035&sub\\_id=1&flid=14&dan\\_id=1](http://www.pref.kumamoto.jp/common/UploadFileOutput.ashx?c_id=3&id=1035&sub_id=1&flid=14&dan_id=1)
- 12) Linkemer, G., J. E. Board and M. E. Musgrave（1998）Waterlogging effects on growth and yield components in late-planted soybean. Crop Sci. 38:1576-1584.



- 13) 松田裕之・森静香・中場勝・藤井弘志 (2011a) 山形県庄内地域における2008年の開花期以降の冠水がダイズの莢および品質に及ぼす影響. 日作紀 80:207-212.
- 14) 松田裕之・柴田康志・森静香・藤井弘志 (2011b) 山形県庄内地域における登熟期間の気温がダイズの百粒重に及ぼす影響. 日作紀 80:43-48.
- 15) 村中健一 (2008) 反転均平工法と水稻乾田直播栽培. 農土誌 76:356-357.
- 16) 中山則和・橋本俊司・島田信二・高橋幹・金榮厚・大矢徹治・有原文二 (2004) 冠水ストレスが発芽時のダイズに及ぼす影響と種子含水率調節による冠水障害の軽減効果. 日作紀 73:323-329.
- 17) 野見山綾介・松尾直樹・脇山恭行・柴田昇平・榮誠三郎・石塚直樹・岩崎亘典・坂本利弘 (2018) 熊本地震で生じた農地の不陸が2016年度のダイズの生育および収量に及ぼした影響. 日作紀 87:176-182.
- 18) 農林水産省 (2015) 土木工事施工管理基準の制定について.  
[http://www.maff.go.jp/j/nousin/seko/kyotu\\_siyosyo/k\\_kizyun/pdf/doboku\\_kouji\\_sekou\\_kanri\\_kizyun\\_zentai\\_ban.pdf](http://www.maff.go.jp/j/nousin/seko/kyotu_siyosyo/k_kizyun/pdf/doboku_kouji_sekou_kanri_kizyun_zentai_ban.pdf)
- 19) 小柳敦史・川口健太郎・村上敏文 (2012) 東北地方太平洋沖地震により茨城県稲敷市の水田で発生したオオムギの噴砂被害と湿害. 日作紀 81:212-218.
- 20) 齊藤邦行・タリク マハムド・黒田俊郎 (1999) 土壤水分の欠乏がダイズの開花結実に及ぼす影響. 日作紀 68:537-544.
- 21) Salter, P.J. (1962) Some response of peas to irrigation at different growth stages. J. Hort.Sci. 37:161-169.
- 22) Sionit, N. and Kramer P.J. (1977) Effect of water stress during different stages of growth of soybean. Agron.J. 69:274-278.
- 23) 杉本秀樹・雨宮昭・佐藤亨・竹之内篤 (1988a) 水田転換畑におけるダイズの過湿障害. 第1報 土壤の過湿処理が乾物生産と子実収量に及ぼす影響. 日作紀 57:71-76.
- 24) 杉本秀樹・雨宮昭・佐藤亨・竹之内篤 (1988b) 水田転換畑におけるダイズの過湿障害. 第2報 土壤の過湿処理が出液, 気孔開度ならびに無機成分の吸収に及ぼす影響. 日作紀 57:71-76.
- 25) 杉本秀樹・佐藤亨 (1990) 水田転換畑におけるダイズの過湿障害. 第4報 湿害発生時における根粒の役割について. 日作紀 59:727-732.
- 26) Sung, F. J. M. (1993) Waterlogging effect on nodule nitrogenase and leaf nitrate reductase activities in soybean. Field Crop. Res. 35:183-189.
- 27) Wuebker, E. F., R. E. Mullen and K. Koehlr (2001) Flooding and temperature effects on soybean germination. Crop Sci. 41:1857-1861.
- 28) 内川修・福島裕助・松江勇次 (2003) 北部九州におけるダイズの収量と気象条件との関係. 日作紀 72:203-209.
- 29) 内川修・福島裕助・松江勇次 (2004) 水田転換畑作ダイズの主茎と分枝に着莢した子実タンパク質含有率と播種時期, 栽植密度との関係. 日作紀 73:287-292.
- 30) 脇山恭行・柴田昇平・野見山綾介 (2019) 平成28年の熊本, 阿蘇地方の気象概況. 九州沖縄農研研究資料 95:102-107.

## Growth and Yield of Soybeans Cultivated as an Alternative Crop for Rice After the 2016 Kumamoto Earthquake

Ryosuke Nomiya, Naoki Matsuo<sup>1)</sup>, Seizaburo Sakae<sup>2)</sup>, and Kinya Masuda<sup>1)</sup>

### Summary

The Kumamoto earthquake in 2016 caused untold damage to irrigation canals in Kumamoto City, Kumamoto Prefecture, Japan, and as an alternative crop for rice, soybeans were cultivated in increasingly larger paddy fields. Thus, the increasingly larger soybean cultivation was anticipated to result in increase in the required days of seed sowing. Furthermore, after the earthquake, severe roughness occurred in the paddy fields. In this study, we examined the effects of both late sowing and soil–surface roughness on the growth and yield of soybeans. Late sowing significantly decreased the pod number by decreasing the plant height and node number. However, the seed yield in the late sowing did not decrease by increasing the seed number per pod and harvest index. The seed yield in a concave position decreased by 50% through reduction in the pod number compared with that in the convex position. The reason for the reduction in the yield was that the soybean roots in the concave position were damaged by wet injury, which reduced the nodule activity and water–uptake ability.

Keywords: Alternative crop for rice, Late sowing, Roughness in paddy field, Soybean, 2016 Kumamoto earthquake

---

Division of Agro–Environment Research, Kyushu Okinawa Agricultural Research Center, NARO, 2421 Suyu, Koshi, Kumamoto 861–1192, Japan

1) Division of Lowland Farming Research, Kyushu Okinawa Agricultural Research Center, NARO

2) Kumamoto Prefectural Agricultural Research Center