徳島農技セ研報 No. 3 21~35 2016

# 津波被災後の農耕地土壌における除塩目標値

梯 美仁, 冨永貴嗣\*1, 富永雅也\*2, 新居美香, 和田健太郎

Criteria of soil electrical conductivity for desalinization in tsunami-affected farmland

Yoshihito KAKEHASHI, Takashi TOMINAGA, Masaya TOMINAGA, Mika NII and Kentarou WADA

要約

徳島県が大津波を伴う巨大地震に見舞われると、沿岸部に位置する約7,000haの農耕地が 津波により浸水すると想定されている。農耕地に海水が侵入すると農作物が塩害を受ける。 そこで、津波浸水想定地域で栽培面積が広い作目を対象に津波被災後の農耕地土壌における 除塩目標値を策定した。

ラッキョウやブロッコリーは除塩作業が十分に進んでいない農地でも栽培が可能であり、カリフラワー、オクラ、ダイコン、水稲、レンコンは、土壌中の塩分がやや残留している条件でも栽培を開始できる。一方、ニンジン、キュウリ、サツマイモ、ネギの栽培を再開するためには圃場を十分に除塩する必要がある。

キーワード:津波,塩害、除塩、土壌電気伝導度

keyword: tsunami,salt injury,desalinization,soil electrical conductivity

# 緒 言

2011年3月11日に三陸沖を震源として発生した東北地方太平洋沖地震では、東北地方から北関東地域の太平洋沿岸の広い農耕地が大津波に襲われ、農耕地への海水の浸入や農業関連施設の破損など農業生産に未曾有な被害をもたらした。1995年1月に起きた阪神淡路大震災以降、日本列島は地震活動期に入ったと警鐘を鳴らされている。近い将来の発生が予測されている南海トラフ巨大地震は、今後30年以内には70%程度、50年以内となると90%と極めて高い発生確率が示されている。。

本県でも南海トラフ巨大地震などの大津波を伴う地震が発生した場合には、県南部から東部にかけての沿岸地域において約7,000haの農耕地が津波の浸水被害を受けると想定されている<sup>120</sup>。農耕地に海水が浸入すると農作物が塩害を受ける。塩害の原因は、植物根圏における塩

類濃度の上昇により農作物が吸水阻害や脱水を起こす浸透圧ストレスと、植物体内に入った過剰なナトリウムイオン等が葉の生育阻害や枯死をもたらすイオンストレスに大別される<sup>30</sup>。従って、津波被災後の農耕地土壌で耕作を再開するためには、土壌中に残留する塩分を農作物の栽培に影響の無い濃度まで除去する必要がある。これまで、台風や高潮等により農耕地に海水が浸入して生育中の農作物が塩害を受けた際の耐塩性を調査した報告<sup>2.40</sup>や農作物生育中の耐塩性を示した基準値<sup>100</sup>は散見されるが、津波被災後に耕作を再開する際の目安となる除塩目標値を定めた知見は少ない。

そこで,「とくしまブランド品目」を中心に本県沿岸部の津波浸水想定地域において栽培面積が広い作目を対象に津波被災後の除塩目標値を検討したので報告する。

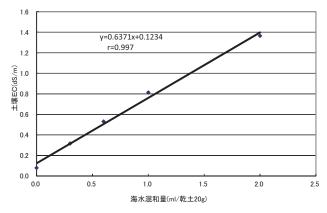
なお,本研究は震災被災農地の速やかな復旧と円滑な 営農再開に必要な体制整備等を定めるために徳島県が取 り組んだ「徳島県農業版業務継続計画 (県農業版 BCP)」 策定事業により実施した。

# 材料および方法

## 1 試験方法

## (1) 栽培試験用培土への海水混和量

栽培試験用培土の土壌 EC を調整するための海水混和量を検討した。徳島県立農林水産総合技術支援センター(以下,センター)内圃場から埴壌土,壌土,砂土を各々採取して風乾細土に調整後,栽培試験の供試土壌とした



第1図 海水混和量と土壌 EC (埴壌土)

第1表 栽培培十への海水混和量

品目	試験区名	海水混和量	土性	栽培容器,圃場等
	無処理区	土壌11kg 当たり混和量 0 mL		
水稲	EC0. 3⊠	150mL		
	EC0. 6⊠	410mL		1/2000a ワグネルポット
ニンジン	EC0. 9⊠	670mL		
	EC1. 2⊠	930mL	- 本 - 本 - 1 .	
	無処理区	 枠当たり混和量 0 mL	- 埴壌土	
	EC0. 3⊠	4. 8L		コンクリート枠
レンコン	EC0. 6⊠	12. 1L		
	EC0. 9⊠	18. OL		$(80 \text{cm} \times 170 \text{cm} \times 25 \text{cm})$
	EC1. 2⊠	24. 8L		
	無処理区	土壌 8 kg 当たり混和量 0 mL		
カリフラワー	EC0. 3⊠	120mL		
ブロッコリー	EC0.6⊠	290mL		
キュウリ	EC0. 9⊠	460mL		
	EC1. 2⊠	620mL	1 261	1 /0000 > 153 x 10 1
	無処理区	土壌 8 kg 当たり混和量 0 mL	- 壌土	1/2000a ワグネルポット
	EC0. 3⊠	160mL		
オクラ	EC0. 6⊠	330mL		
	EC0. 9⊠	510mL		
	EC1. 2⊠	680mL		
	無処理区	 20㎡当たり散布量 0L		
	EC0. 3⊠	73L		
サツマイモ	EC0.6⊠	174L		砂地畑圃場 (1区5m×4m)
	EC0. 9⊠	275L		
	EC1. 2⊠	377L		
	無処理区	土壌16kg 当たり混和量 0 mL		
	EC0. 3⊠	321mL		
ネギ	EC0. 6⊠	710mL	砂土	
	EC0. 9⊠	1,099mL		
	EC1. 2⊠	1,487mL		1 (0000 - 183 - 18
	無処理区	土壌16kg 当たり混和量 0 mL	-	1 ∕2000a ワグネルポット
= + +	EC0. 5⊠	580mL		
ラッキョウ	EC1.0⊠	1, 229mL		
ダイコン	EC1. 5⊠	1,877mL		
	EC2. 0⊠	2, 525mL		

注) 各試験区とも3 反復で実施

品目 品種 試験年 海水混和日 基肥日, 施肥量  $(N:P_2O_5:K_2O\ kg\cdot a^{-1})$ 肥料の種類 水稲 コシヒカリ (0.72 : 0.56 : 0.68)基肥一発型肥料 2013 5月13日 5 月13日 ニンジン 彩誉 2013 11月12日 11月12日 (1.8:1.8:1.8) 化成肥料 レンコン 備中種 2013 5月23日 5月23日 (3.6:2.0:2.0) 基肥一発型肥料 カリフラワー 輝月 2014 9月22日 9月24日 (1.6:1.6:1.6) 化成肥料 ブロッコリー ピクセル 8月28日 9月8日 (2.0:2.0:2.0) 2014 化成肥料 キュウリ 光神1号/オールスター一輝 2014 9月22日 11月1日 (3.1:3.0:2.5) 有機質肥料 オクラ アーリーファイブ 2014 4月22日 5月13日 (0.8:0.8:0.8) 化成肥料 サツマイモ なると金時 2013 4月15日 4 月 15 日 (0.4:1.0:1.2) 土壌消毒, マルチ被覆同時処理 化成肥料 ネギ TN - 1112013 10月11日 10月16日 (1.5:1.5:1.5) 化成肥料 ラッキョウ 玉らっきょう 2012 8月24~29日 8月29日 (1.3:2.5:1.3) 化成肥料 ダイコン 冬だより 2012 9月18.19日 9月19日 (0.64:1.60:0.56) 化成肥料

第2表 栽培概要

			追肥日,施肥量(N:P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :K <sub>2</sub> O kg·a <sup>-1</sup> )	
水稲	5月14日	移植 (3株/ポット)	-	8月12日
ニンジン	11月13日	播種(2粒×5ヶ所/ポット)	_	4月23日
レンコン	5月25日	定植(2本/枠)	-	10月4日
カリフラワー	9月24日	定植(1株/ポット)	10月31日, 11月28日, 12月22日(合計1.8:1.8:1.8)	1月5日
ブロッコリー	9月12日	定植(1株/ポット)	10月20日, 11月4日 (合計1.4:1.4:1.4)	11月27日
キュウリ	11月7日	定植(1株/ポット)	_	_
オクラ	6月23日	播種(3株/ポット)	7月18日, 8月20日 (合計1.0:1.0:1.0)	8月19日~9月8日
サツマイモ	5月9日	挿苗(畝幅65cm, 株間45cm)	6月17日, 7月17日 (合計0.4:1.0:1.2)	9月6日
ネギ	10月28日	播種(20粒×2条/ポット)	12月2日, 1月22日 (合計1.0:-:1.3)	2月10日
ラッキョウ	8月31日	定植(6個/ポット)	10月10日, 12月28日 (合計1.0:1.2:1.6)	5月21日
ダイコン	9月24日	播種(5粒/ポット)	12月12日 (0.3:0.3:0.3)	1月24日

### (以下, 栽培培土)。

栽培培土20gに海水を0.3,0.6,1,2 ml添加し,海水添加量と合わせて100mlとなるように蒸留水を加えて常法(土壌1:水5)に従って土壌ECを測定した。試験に使用した海水はセンター水産研究課(徳島県鳴門市)が研究用に採取した海水(NaCl:3.17%)を用いた。

埴壌土への海水添加量と土壌 EC との関係を第1図に示した。最小二乗法で得られた検量線から任意の土壌 EC に調整するための海水混和量を算出した。壌土および砂土も同様に検量線を作成し海水混和量を算出した(データ省略)。

各栽培培土と作目毎の海水混和量を第1表に示した。 以上の結果から得られた海水混和量に基づき栽培試験を 実施した。

#### (2) 栽培試験の栽培概要

各作目の栽培概要を第2表に示した。各作目を現地で 栽培されている土壌(第1表)を使用し、現地の代表的 な作型で栽培試験を実施した。各作目の施肥量は徳島県 施肥基準<sup>11</sup>に準じた。水稲およびレンコンは近年生産現 場での使用が増加している基肥一発型肥料,キュウリは慣行とおりなたね油かす,骨粉等の有機質肥料を用いた。その他の作目は慣行の化成肥料を使用した。また,追肥は主にNK化成を使用した。なお,ポット栽培は温室内で実施したため、月毎の平年降水量を10等分した量を3日間隔で灌水した。

### 2 試験場所

サツマイモの栽培試験はセンター内砂地畑圃場で,レンコンはセンター内の屋外に設置したコンクリート枠を使用して行い,その他の作目は温室内でポット栽培した。

## 結 果

## 1 栽培前の土壌化学性

#### (1) 埴壌土および壌土

栽培培土への海水混和後の土壌化学性を第3表に示した。海水混和後の土壌 EC は、埴壌土、壌土ともにほぼ設定とおり調整できた。海水の混合量が多くなるほど土

## 第3表 海水混和後の土壌化学性

## 埴壌土

				7.	<b>水稲</b>				=	ニンジ	ン			レン	コン		
					交換	生塩基										施肥後	É
試験区名	EC	рΗ	Cl	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	塩基飽和度	EC	рН	Cl	EC	рН	Cl	EC	рН	Cl
	$dSm^{-1}$	$H_2O$	$gkg^{-1}$		gk	$g^{-1}$		%	$dSm^{-1}$	$H_2O$	gkg <sup>-1</sup>	$dSm^{-1}$	$H_2O$	gkg <sup>-1</sup>	$dSm^{-1}$	$H_2O$	gkg <sup>-1</sup>
無処理区	0.11	7.5	0.03	2. 10	0.65	0.08	0.05	80	0.11	7.0	0.03	0.09	6.5	0.05	0.29	6.6	0.19
EC0. 3区	0.35	7.3	0.36	1.96	0.63	0.07	0.25	80	0.33	7.0	0.35	0.32	6.5	0.35	0.40	6.6	0.46
EC0. 6⊠	0.71	7.2	0.84	2.13	0.72	0.07	0.61	96	0.68	7.1	0.88	0.65	6.6	0.86	0.87	6.6	1.19
EC0. 9区	1.06	7.2	1.36	2.20	0.76	0.08	0.91	111	0.96	7.1	1.28	0.94	6.6	1.30	1.24	6.6	1.73
EC1. 2区	1.37	7.2	1.80	2.20	0.77	0.08	1.23	114	1.17	7.0	1.76	1.23	6.6	1.79	1.57	6.6	2.17

## 壌土

		カリフ	フラワー	-, ブロ	コッコ	IJ <i>ー</i> ,	キュウ	1)			オク	クラ		
					交換	生塩基							施肥後	ź
試験区名	EC	рΗ	Cl	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	塩基飽和度	EC	рΗ	Cl	EC	рΗ	Cl
	$dSm^{-1}$	H <sub>2</sub> O	$gkg^{-1}$		gk	$g^{-1}$		%	$dSm^{-1}$	H <sub>2</sub> O	gkg <sup>-1</sup>	$dSm^{-1}$	H <sub>2</sub> O	gkg <sup>-1</sup>
無処理区	0.13	6.0	0.06	1.03	0.27	0.29	0.07	53	0.04	6.3	0.03	0.14	6.3	0.10
EC0. 3区	0.26	5.9	0.29	1.01	0.30	0.27	0.29	60	0.38	6.6	0.55	0.40	6.3	0.47
EC0.6区	0.70	5.8	1.04	1.01	0.35	0.33	0.70	75	0.60	6.2	0.86	0.68	6.3	0.86
EC0. 9区	0.94	5.8	1.44	1.08	0.41	0.29	1.00	88	0.84	6.2	1.23	0.95	6.2	1.24
EC1. 2⊠	1.26	6.2	1.59	1.05	0.47	0.32	1.38	102	1.21	6.2	1.60	1.31	6.3	1.62

## 砂土

			サツ	マイモ	(挿苗	i前)					ネ	ギ				ラッキ	ョウ, タ	ダイコン
					交換性	性塩基						7	施肥後	:				
試験区名	EC	рН	Cl	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	塩基飽和度	EC	pН	Cl	EC	рН	Cl	試験区名	EC	рН	Cl
	$dSm^{-1}$	$H_2O$	gkg <sup>-1</sup>		gkg	g-1		%	$dSm^{-1}$	$H_2O$	gkg <sup>-1</sup>	dSm <sup>−1</sup>	$H_2O$	gkg <sup>-1</sup>		$dSm^{-1}$	$H_2O$	gkg <sup>-1</sup>
無処理区	0.10	7.1	0.09	0.28	0.11	0.08	0.01	65	0.08	7.3	0.05	0.79	7.3	0.15	無処理区	0.08	6.3	0.02
EC0. 3⊠	0.21	6.7	0.21	0.28	0.13	0.08	0.10	80	0.38	7.2	0.48	1.02	7.3	0.53	EC0. 5⊠	0.59	6.6	0.83
EC0.6⊠	0.65	6.4	0.72	0.33	0.17	0.11	0.46	139	0.73	7.2	1.08	1.54	7.2	1.15	EC1. 0⊠	1.02	6.4	1.27
EC0. 9⊠	0.72	6.4	0.79	0.33	0.18	0.13	0.52	149	1.09	7.3	1.65	1.82	7.3	1.70	EC1. 5⊠	1.48	6.4	2.13
EC1. 2⊠	0.85	6.4	0.97	0.34	0.20	0.10	0.66	169	1.27	7.2	1.93	2.01	7.3	2.05	EC2. 0⊠	1. 93	6.4	2.73

## 第4表 栽培後の土壌化学性

## 埴壌土

				7.	水稲					ニンジ	ン				レ	ンコン			
					交換	性塩基										交換	生塩基		
試験区名	EC	рН	Cl	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	塩基飽和度	EC	рΗ	Cl	EC	рН	Cl	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	塩基飽和度
	$dSm^{-1}$	$H_2O$	$gkg^{-1}$		gk	$g^{-1}$		%	dSm <sup>−1</sup>	$H_2O$	gkg <sup>-1</sup>	$dSm^{-1}$	$H_2O$	gkg <sup>-1</sup>		gk	$g^{-1}$		%
無処理区	0.14	7.3	0.10	2.10	0.63	0.06	0.10	80	0.13	6.7	0.01	0.12	6.8	0.01	1.46	0.38	0.08	0.05	54
EC0. 3⊠	0.30	7.4	0.36	2.09	0.65	0.06	0.28	85	0.26	6.8	0.19	0.16	6.7	0.15	1.54	0.42	0.08	0.20	61
EC0. 6⊠	0.57	7.5	0.79	2.08	0.69	0.05	0.51	91	0.65	6.8	0.68	0.34	6.7	0.48	1.56	0.45	0.09	0.38	67
EC0. 9区	0.84	7.5	1.20	2.09	0.72	0.05	0.74	98	0.61	6.9	0.65	0.43	6.7	0.54	1.45	0.45	0.13	0.46	66
EC1. 2⊠	1.15	7.5	1.67	2.20	0.75	0.07	1.01	109	0.79	6.8	0.86	0.52	6.8	0.67	1.49	0.49	0.14	0.58	72

## 壤土

				カリニ	フラワ・	-			ブロ	1ッコ	ıJ —	4	テュウ	IJ		オクラ	,
					交換	性塩基											
試験区名	EC	рΗ	Cl	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	塩基飽和度	EC	рΗ	Cl	EC	pН	Cl	EC	рΗ	Cl
	$dSm^{-1}$	H <sub>2</sub> O	gkg <sup>-1</sup>		gk	$g^{-1}$		%	$dSm^{-1}$	H <sub>2</sub> O	$gkg^{-1}$	$dSm^{-1}$	H <sub>2</sub> O	gkg <sup>-1</sup>	$dSm^{-1}$	H <sub>2</sub> O	gkg <sup>-1</sup>
無処理区	0.15	6.1	0.05	1.09	0.42	0.26	0.13	63	0.13	6.0	0.03	0.28	6.2	0.07	0.20	5. 9	0.07
EC0. 3区	0.23	6.1	0.21	1.17	0.46	0.23	0.37	74	0.20	6.1	0.18	0.42	6.2	0.29	0.23	5.7	0.36
EC0. 6⊠	0.41	6.0	0.52	1.13	0.48	0.26	0.56	80	0.39	6.0	0.47	0.62	6.4	0.49	0.43	5.6	0.65
EC0. 9⊠	0.56	6.0	0.76	1.21	0.55	0.32	0.75	92	0.64	5.9	0.91	0.76	6.4	0.70	0.67	5.6	1.03
EC1. 2⊠	1.02	6.0	1.53	1.22	0.59	0.28	1.41	113	0.92	5.9	1.41	0.90	6.5	0.97	0.95	5.7	1.46

## 砂土

				サツ	マイモ	-						,	ネギ					ラ	ッキョ	ウ	5	ブイコ	<del></del>
					交換性	生塩基							交換性	生塩基									
試験区名	EC	рΗ	Cl	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	塩基飽和度	EC	рΗ	Cl	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	塩基飽和度	試験区名	EC	pН	Cl	EC	рΗ	Cl
	$dSm^{-1}$	$H_2O$	$gkg^{-1}$		gk	$g^{-1}$		%	$dSm^{-1}$	$H_2O$	$gkg^{-1}$		gk	g-1		%		$dSm^{-1}$	$H_2O$	$gkg^{-1}$	dSm <sup>−1</sup>	$H_2O$	gkg <sup>-1</sup>
無処理区	0.06	7.5	0.02	0.15	0.11	0.04	0.01	44	0.13	6.2	0.01	0.30	0.13	0.11	0.03	76	無処理区	0.14	6.9	0.08	0.03	6.2	0.00
EC0. 3⊠	0.06	7.1	0.06	0.11	0.12	0.05	0.08	49	0.44	6.3	0.30	0.35	0.18	0.18	0.24	122	EC0. 5⊠	0.17	7.0	0.29	0.67	6.5	1.05
EC0. 6区	0.02	7.1	0.01	0.10	0.12	0.06	0.06	49	0.72	6.4	0.67	0.37	0.23	0.20	0.53	170	EC1.0区	0.17	7.1	0.32	-	-	_
EC0. 9⊠	0.02	7.0	0.01	0.05	0.10	0.06	0.08	39	0.66	6.6	0.60	0.28	0.19	0.24	0.52	152	EC1.5⊠	0.18	7.2	0.35	0.96	6.7	1.51
EC1. 2⊠	0.04	7.0	0.02	0.04	0.15	0.07	0.11	51	0.80	6.8	0.88	0.27	0.21	0.23	0.73	180	EC2. 0⊠	0.20	7.1	0.54	0.80	6.7	1.33

壌ECが高くなり、同様に塩素含量および交換性ナトリウム含量が多くなった。また、海水の混合量が増えるにつれて交換性マグネシウムもやや増加した。一方、土壌pH、交換性カルシウム含量および交換性カリウム含量に大きな変動は無かった。また、レンコン、オクラの施肥後の土壌化学性は、両者とも施肥の影響を受けて海水混和直後に比べて土壌ECが上昇した。ECの上昇幅は窒素施用量の多いレンコンの方が大きかった。

### (2) 砂 土

サツマイモ挿苗直前の土壌化学性は、圃場への海水散布から24日経過していたため土壌 EC が当初の設定値より低下していた。埴壌土、壌土と同様に海水の混合量が多くなるほど土壌 EC が高くなり、塩素含量および交換性ナトリウム含量も多くなった。また、海水の混合量が増えるにつれて交換性マグネシウムがやや増加した。ラッキョウ、ダイコンは当初の設定値とおり調整できたが、ネギは海水混和後の土壌 EC が当初の設定値よりやや高くなった。施肥後の土壌化学性の例をネギで示したが、施肥後に土壌 EC が著しく上昇した。

#### 2 栽培後の土壌化学性

#### (1) 埴壌土

栽培後の土壌化学性を第4表に示した。水稲はポット外への灌漑水の流出が無かったため栽培前に比べて塩素含量及び交換性ナトリウム含量が僅かに減少したものの大きな変動は無く、土壌ECは水稲栽培前と同程度であった。

一方ニンジンは、ポットの排水口から灌水由来の浸透水が排出したため栽培前と比較して塩素含量が減少し、 土壌 EC も低下した。

レンコンは台風等の大雨時に田面水がオーバーフロー したため塩素含量および交換性ナトリウム含量が減少 し、栽培前より土壌 EC が低下した。また、交換性カリ ウム含量が激減した。(栽培前のデータ省略)



#### (2) 壌 土

カリフラワー,ブロッコリーおよびオクラは,栽培前に比べて塩素含量が減少した影響で土壌 EC も低下した。土壌中の交換性ナトリウムは EC0.6区以外でやや増加した。苦土石灰を施用した影響で交換性カルシウムや交換性マグネシウムが増加したため塩基飽和度が高くなった。交換性カリウムは栽培前後で大きな変化が無かった。

キュウリも栽培前に比べて塩素含量が減少した影響で 土壌 EC も低下したが、無処理区と ECO. 3区では塩分含 量の減少がみられなかった。生育途中で栽培試験を中断 したために交換性塩基が比較的多く残留していた。

#### (3) 砂 ±

サツマイモは,塩素含量及び交換性ナトリウム含量が 著しく低下し、それに伴って塩基飽和度も低くなった。 このため、土壌 EC も海水散布の影響がみられなくなる ほど低下した。

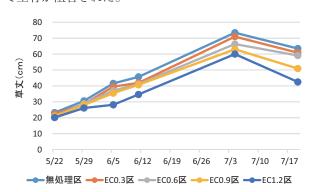
ネギおよびラッキョウは, 栽培期間中の灌水により, 塩素含量及び交換性ナトリウム含量が減少し, それに伴 い土壌 EC も低下した。

ダイコンは、EC0.5区は栽培後においても土壌ECが高く、塩素含量も多いままであった。しかし、EC1.0区、EC1.5区では土壌EC、塩素含量が低下した。

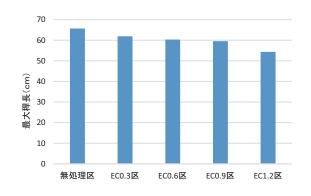
### 3 生育および収量

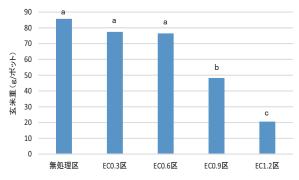
#### (1) 水 稲

土壌中の塩分が水稲の茎数および草丈の推移に及ぼす影響を第2図に示した。無処理区の茎数が最も多く推移し、次いでEC0.3区とEC0.6区が同程度で、EC0.9区、EC1.2区は生育初期から収穫期まで無処理区に比べて明らかに茎数が少なかった。草丈も同様に土壌ECが0.9(dSm<sup>-1</sup>以下単位省略)を超えると無処理区より短く推移し、特にEC1.2区は定植直後から塩分の影響を受けて生育が阻害された。



第2図 土壌中の塩分が水稲の茎数および草丈の推移に及ぼす影響





異なるアルファベット間で有意差有り (tukey 多重検定 P<0.05)

第3図 土壌中の塩分が水稲の最大稈長および収量に及ぼす影響











無処理区

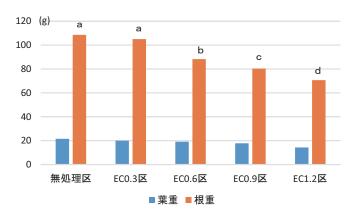
E C 0.3区

E C 0.6区

E C 0.9区

E C 1.2区

第4図 土壌中の塩分が水稲の生育に及ぼす影響(出穂時)



異なるアルファベット間で有意差有り (tukey 多重検定 P<0.05) 第5図 土壌中の塩分が二ンジンの葉重および根重に及ぼす影響

第5表 土壌中の塩分が二ンジンの発芽率に及ぼす影響

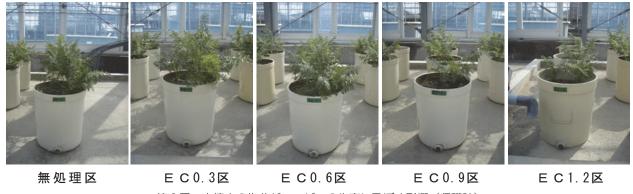
試験区名	発芽率(%)
無処理区	77
EC0. 3⊠	73
EC0.6⊠	60
EC0. 9⊠	23
EC1. 2⊠	10

注) 1ポット当たりの平均値(10粒/ポット)

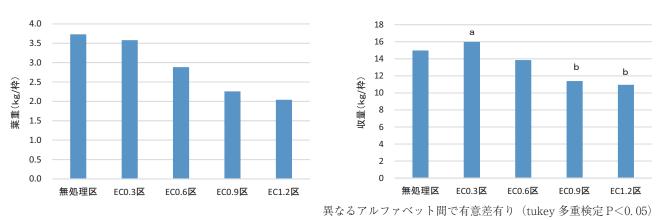
収穫時の最大稈長は、第3図に示したとおり無処理区 が最も長く,次いでECO.3区,ECO.6区,ECO.9区が同 程度で、土壌 EC が1.2を超えると無処理区より明らか に短かった。玄米重も同様に海水の混合量が多いほど軽 く、土壌 EC が0.9を超えると無処理区に比べて有意に 軽かった。特に EC1.2区は塩分の影響を受けて玄米重 が著しく軽かった。

#### (2) ニンジン

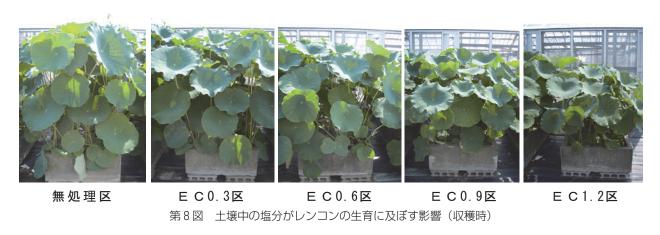
ニンジンの発芽率は第5表に示したとおり無処理区と ECO. 3区が高く、次いで ECO. 6区であり、ECO. 9区と EC 1.2区は極端に発芽率が低かった。ニンジンの収穫時の 生育、収量は第5、6図に示したとおり海水の混合量が 多くなるほど葉重や根重が軽くなった。特に根重は土壌 ECが0.6を超えると無処理区に比べて明らかに軽かっ

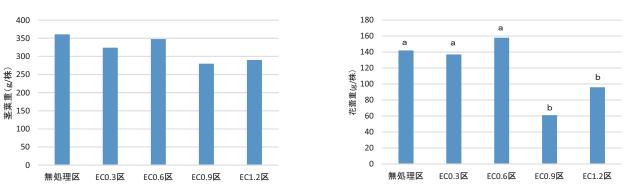


第6図 土壌中の塩分が二ンジンの生育に及ぼす影響(収穫時)



第7図 土壌中の塩分がレンコンの生育および収量に及ぼす影響

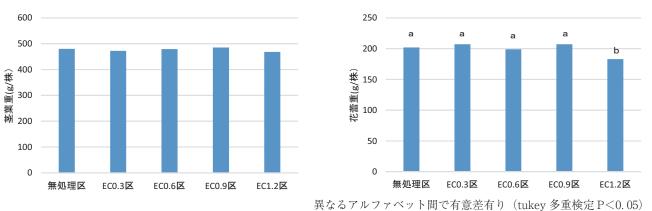




異なるアルファベット間で有意差有り (tukey 多重検定 P<0.05) 第9図 土壌中の塩分がカリフラワーの生育および収量に及ぼす影響



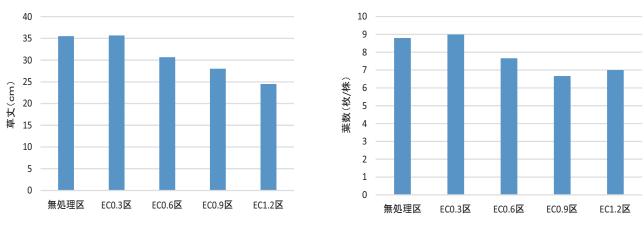
第10図 土壌中の塩分がカリフラワーの生育に及ぼす影響(収穫時)



第11図 土壌中の塩分がブロッコリーの生育および収量に及ぼす影響



第12図 土壌中の塩分がブロッコリーの生育に及ぼす影響(収穫時)



第13図 土壌中の塩分がキュウリの生育に及ぼす影響







E C 0.6区

E C 0.9区

E C 1.2区

第14図 土壌中の塩分によるキュウリ葉の生育障害(定植2カ月後)

第6表 土壌中の塩分がオクラの発芽率に及ぼす影響

試験区名	発芽率(%)
無処理区	100
EC0. 3⊠	100
EC0.6⊠	100
EC0. 9⊠	89
EC1. 2⊠	89

注) 1ポット当たりの平均値(9粒/ポット)

た。

#### (3) レンコン

レンコン収穫時の葉重は第7,8図に示したとおり無処理区・EC0.3区>EC0.6区>EC0.9区>EC1.2区の順に重く、海水混和量が増えるほど地上部の生育が劣った。レンコンの収量は、EC0.3区が最も多く、次いで無処理区とEC0.6区が同程度で、ECが0.9を超えると明らかに収量が低かった。

#### (4) カリフラワー

カリフラワーの花蕾収穫時の茎葉重は、第9、10図に示したとおり無処理区が最も重く、次いでEC0.6区、EC 0.3区の順であり、EC0.9区、EC1.2区の茎葉重は他区に比べて明らかに軽かった。また、花蕾重はEC0.6区が最も重く、次いで無処理区、EC0.3区の順であったがこれらの3区に統計的な有意差は認められなかった。しかし、EC0.9区、EC1.2区は極端に花蕾重が軽かった。

## (5) ブロッコリー

ブロッコリーの花蕾収穫時の茎葉重は第11,12図に示したとおり試験区間で明確な差は無く、耐塩性の高い作目であることが示唆された。花蕾重はEC1.2区が他区に比べて有意に軽かった。

第7表 土壌中の塩分がサツマイモの初期生育に及ぼす影響 (挿苗1カ月後)

試験区名	分枝数(本)	最大つる長 (cm)
無処理区	3. 6	36
EC0. 3⊠	3.8	30
EC0.6⊠	1.0	14
EC0. 9⊠	1.2	15
EC1. 2⊠	0.0	12

注) 15株×3区の平均値

#### (6) キュウリ

キュウリは第13,14図に示したとおり,土壌 EC が0.6 以上の試験区では、定植直後から塩分の影響を受けて生育が抑制され、草丈が短く、葉数も少なくなった。特に EC1.2区は著しく生育が阻害され枯死寸前になった。その傾向は、定植から2カ月が経過した頃まで観察され、その後の収量に影響を与えることが必至と判断したため栽培試験を中断した。

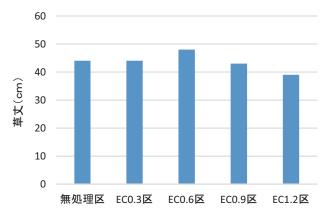
#### (7) オクラ

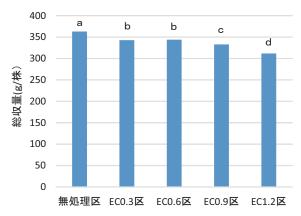
オクラの発芽率は第6表に示したとおり無処理区, EC 0.3区および EC 0.6区は100%であったが, EC が0.9を超えると1割以上低下した。

収穫終了時の草丈は、第15図に示したとおり ECO. 6 区が最も長く、次いで無処理区、ECO. 3区、ECO. 9区が同程度で、EC1. 2区は他区に比べて草丈が短かった。総収量は無処理区が最も多く、次いで ECO. 3区と ECO. 6 区が同程度で、EC が0. 9区を超えると無処理区と比べて明らかに収量が少なかった。

#### (8) サツマイモ

サツマイモの生育は、第7表および第16図に示したとおり挿苗直後から海水散布の影響が認められ、挿苗1ヵ月後にはEC0.3区が分枝数、最大つる長とも無処理区



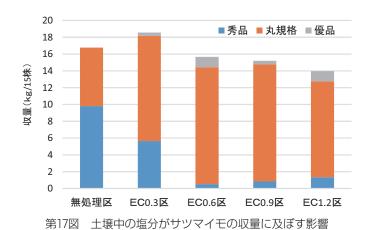


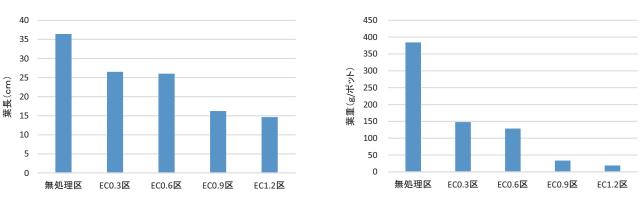
異なるアルファベット間で有意差有り (tukey 多重検定 P<0.05)

第15図 土壌中の塩分がオクラの生育および総収量に及ぼす影響



第16図 土壌中の塩分がサツマイモの生育に及ぼす影響(挿苗50日後)





第18図 土壌中の塩分がネギの生育および収量に及ぼす影響











無処理区

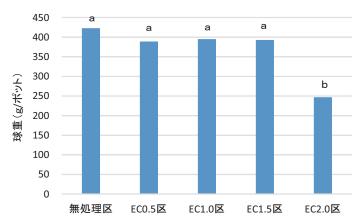
E C 0.3区

EC0.6区

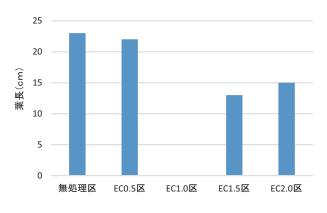
E C 0.9区

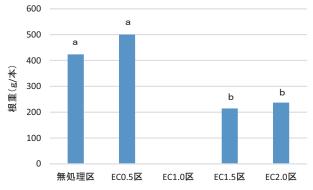
E C 1.2区

第19図 土壌中の塩分がネギの生育に及ぼす影響(収穫時)



異なるアルファベット間で有意差有り (tukey 多重検定 P<0.05) 第20図 土壌中の塩分がラッキョウの収量に及ぼす影響





異なるアルファベット間で有意差有り (tukey 多重検定 P<0.05)

第21図 土壌中の塩分がダイコンの生育および収量に及ぼす影響

第8表 土壌中の塩分がラッキョウの出芽に及ぼす影響

試験区名	出芽数 (本)	出芽率(%)
無処理区	4. 7	78
EC0. 5⊠	4.0	67
EC1.0⊠	4.3	72
EC1.5⊠	3.7	62
EC2. 0⊠	3. 0	50

注) 1ポット当たりの平均値(6個/ポット)

と同等の生育を示したものの、その他の海水散布区は土壌 EC が高くなるほど分枝数が少なく、つる長も短かかった。

サツマイモの総収量は、第17図に示したとおり ECO.3 区で無処理区よりやや多かったが、その他の海水散布区は EC が高くなるほど収量が少なくなった。特に市場価値の高い秀品の 2 L~M 級の収量は無処理区が最も多く、次いで ECO.3区であり、その他の海水散布区は著しく少なかった。秀品収量も ECO.3区以外の海水散布

区は無処理区に比べて極端に少なかった。一方, 丸規格 や優規格の収量は, 海水散布区で多かった。

#### (9) ネ ギ

ネギの葉長は第18,19図に示したとおり無処理区で最も長く、海水の混和量が多くなるほど葉長が短かった。また、成長が進むにつれて試験区間の生育差が開く傾向がみられた。収穫時の葉数、葉長、葉径ともに無処理区の生育が最も良く、海水を混和すると地上部の生育量が劣った。ネギの収量も無処理区が最も多く、海水を混和すると収量が少なかった。特にECO.9区やEC1.2区は極端に収量が少なかった。

#### (10) ラッキョウ

ラッキョウの出芽数は第8表に示したとおり無処理区 >EC0.5 $\boxtimes$ ・EC1.0 $\boxtimes$ >EC1.5 $\boxtimes$ >EC2.0 $\boxtimes$ の順に多かった。土壌 EC が1.5を超えると発芽率が低下した。

ラッキョウの球重は、第20図に示したとおり無処理区が最も重く、次いでEC0.5区、EC1.0区、EC1.5区が同程度で、EC2.0区は他区に比べて著しく軽かった。

#### (11) ダイコン

ダイコンの葉長は第21図に示したとおり無処理区と EC0.5区が同程度で、EC1.5区、EC2.0区は非常に短かった。根重は EC0.5区>無処理区の順に重く、EC1.5区、 EC2.0区は極端に軽かった。また、EC1.0区は発芽しなかった

# 考察

#### 1 津波被災後の農耕地土壌における除塩目標値

津波被災後の農耕地で農業を再開する場合、農作物が塩害を受けるか否かを事前に予測し、かつ除塩作業を効率的に実施するためにも土壌中に残存する塩分含量の多少を判断する指標が必要となる。従来、わが国では土壌懸濁液(土壌:水=1:5)の電気伝導度(土壌EC)や土壌中の塩素含量が土壌塩類濃度の指標として活用されてきた<sup>2,4,10)</sup>。特に土壌ECは、土壌中の塩分含量や土壌溶液の浸透圧と比例することから塩害の限界指標としてよく使用されている。しかし、農作物の作目、品種、作型、土壌の種類および施用する肥料の種類や施肥量等によって塩害の発現程度には違いが生じる<sup>7)</sup>。

そこで、本研究では津波被害が想定されている沿岸部で栽培面積の多い作目を対象に栽培時期を始め現地で慣行的に使用している品種、土壌(土性)、肥料等を使用

して栽培試験を行い、本県の栽培慣行に即した本県独自 の除塩目標値を策定した。

#### (1) 水 稲

津波被災後の水田に水稲を作付けする際,まずは津波によって運ばれた瓦礫を取り除く必要がある。次に瓦礫の下,すなわち元々の圃場の上に堆積した土砂類を除去することになる。東日本大震災の被災地では,農地に堆積した津波由来の土砂類を元の土壌と混層してそのまま利用したケース<sup>11</sup>もある。しかし,徳島県が2013年6月に策定した徳島県農業版業務継続計画「津波・塩害からの営農再開マニュアル」<sup>13)</sup>では,除塩に際して津波堆積物を除去・処分することを基本としている。従って,津波堆積物の除去と同時に農業用水も確保し,除塩作業完了の目安として本報で示した除塩目標値を使用することを想定している。

本研究での水稲の生育状況や収量から判断すると、水 稲作付け前に土壌 EC が0.9を超えると地上部の生育や 収量が著しく影響を受けることから、水稲の栽培が可能 な土壌 EC は0.6以下,土壌中の塩素含量は0.83(gkg<sup>-1</sup>) 以下と考えられる。この結果は、台風時の高潮等の被害 状況から策定した水稲の生育限界濃度<sup>2,4)</sup>の土壌 ECO. 7 以下, 土壌中塩素含量1.00 (gkg<sup>-1</sup>) 以下に比べるとや や低い値である。本研究では培土の土壌 EC 設定後に施 用した基肥の影響で土壌 EC が上昇したため栽培開始前 の除塩目標値としては前述の生育限界濃度より低い値に なったと推察される。そのことを裏付けるように、本研 究と同様にポット栽培試験から佐藤のが示した除塩基準 である土壌 ECO. 6以下と一致している。また本研究で は、ポットの排水口に栓をして温室内で栽培したためポ ット外への灌漑水の流出等による土壌中の塩分濃度の低 下は起こり難く、実際に栽培前後の土壌化学性を比べて も土壌中の塩素含量はほとんど変化しなかった。生産現 場の水田では灌漑水の流入による土壌中の塩分の希釈や 地下浸透水に伴って塩分の下層への流亡等が起きると推 察されることから津波被災後の水田において水稲作付け 前(施肥前)に土壌 EC を少なくとも0.6以下まで低下 させておけば水稲栽培が再開可能であると判断した。

#### (2) ニンジン

ニンジンの発芽率および生育、収量(第5表, 第5図) から判断すると、ニンジンの除塩目標値も前述した水稲と同様の理由から生育限界濃度 $^{2,4}$ 0.40 $\sim$ 0.50 (gkg $^{-1}$ ) よりやや低く0.34 (gkg $^{-1}$ ) 以下であり、土壌 EC は0.3 以下と考えられた。

ニンジンは栽培期間が5ヵ月以上の長期に渡ったため、その間の灌水により栽培期間中に土壌中の塩分含量が低下していた(第3,4表)。その事実を考慮するとニンジンの除塩目標値を試験結果よりやや高めに設定できる可能性が示唆される。しかし、本県のニンジン栽培の主力作型である春夏ニンジンは、栽培期間中の全期間がトンネル被覆されているため降雨等による塩分含量の低下は起こり難い。従って、津波被災後に春夏ニンジン栽培を再開する際には、土壌ECが少なくとも0.3以下になるまで除塩する必要がある。一般にニンジンは、イチゴ、ミツバ等の耐塩性が弱い農作物に次いで耐塩性がやや弱い作物100として知られており、栽培再開前の除塩に十分留意する必要がある。

#### (3) レンコン

レンコンの地上部の生育量は、無処理区と ECO. 3区が同等で、海水の混合量が多くなるほど葉重が軽かった。土壌 EC が0.6を超えると生育初期から収穫期まで生育期間全般で地上部の生育が抑制される傾向が確認された。レンコンは台風等の大雨時に田面水がコンクリート枠からオーバーフローしたため培土中の塩分含量が減少し、栽培後に土壌 EC が低下していた。レンコンの収量は栽培開始前の土壌 EC が0.9を超えると他区と比べて大きく減収することから(第7図)、レンコンの栽培が可能な土壌 EC は0.6以下で、塩素含量は0.83(gkg<sup>-1</sup>)以下と考えられた。

また、レンコンの収量は統計的な有意差は無かったものの無処理区より ECO.3区の方がやや多かった。これまで海水の施用効果が認められる農作物も多数確認されている<sup>14)</sup>。詳細なメカニズムは不明であるが、薄い濃度の海水の施用がレンコンの収量を増加させた可能性も否定できない。

### (4) カリフラワー

カリフラワーの生育及び収量(第9図)から判断すると、カリフラワーの栽培が可能な土壌 EC は水稲やレンコン並みの0.6以下と考えられた。ただし、カリフラワーは畑状態で栽培することから灌漑水による希釈効果が期待できる水稲等に比べて耐塩性が強い作目である。

## (5) ブロッコリー

ブロッコリーの生育及び収量(第11,12図)から判断すると、ブロッコリーの栽培が可能な土壌 EC は0.9以下で、土壌中塩素含量は1.32( $gkg^{-1}$ )以下と考えられた。これは生育限界濃度で示された0.90( $gkg^{-1}$ )より

かなり高い値であった。このことから,ブロッコリーは 津波被災後に除塩作業が不十分な農耕地でも栽培可能な 作目の第一候補に挙げられる。

#### (6) キュウリ

キュウリの初期生育(第13,14図)から判断すると、キュウリの栽培が可能な土壌 EC は0.3以下と考えられた。キュウリもニンジンと同様に耐塩性がやや弱い作物であるが、その反面、長期に渡って栽培・収穫できるように基肥施用量の多い作目であり、施肥の影響による土壌 EC の上昇が避けられない。そこで、生産現場では土壌 EC の上昇を抑制する目的でなたね油かす、骨粉等の有機質肥料を施用している。本研究でも慣行とおり有機質肥料を使用したが、生育初期から塩分の影響による生育阻害がみられたため除塩目標値を EC0.3以下と低い数値とした。津波被災後にキュウリ栽培を再開するには、圃場を十分に除塩する必要があることを示している。

#### (7) オクラ

土壌 EC が0.9を超えるとオクラの発芽率や収量(第6表,第15図)が明確に低下することから、オクラの栽培が可能な土壌 EC は0.6以下で塩素含量では0.83 (gkg<sup>-1</sup>)以下と考えられた。オクラも栽培期間が長く、多肥栽培に適応できる作目である。従って、塩分がやや残留した土壌において栽培可能な作目であると考えられる。

## (8) サツマイモ

サツマイモの初期生育や収量および品質(第7表,第 16,17図) から判断すると、サツマイモの栽培が可能な 土壌 EC は0.3以下で塩素含量は0.34 (gkg<sup>-1</sup>) と考えら れる。サツマイモは耐塩性のやや弱い作物群に含まれ、 生育限界濃度<sup>2,4)</sup>は0.50~0.60 (gkg<sup>-1</sup>) と言われている。 本研究から得られた除塩目標値の方が従来示されている 生育限界濃度より低い。これは、本県のサツマイモは砂 土で栽培されており、土壌の緩衝能が低く塩分の影響を 受けやすいことに起因するものと考えられる。このこと は、津波被災後にサツマイモを栽培する際には十分な除 塩に留意する必要があることを意味している。ただし、 海水散布から挿苗までの間、本来降雨の影響を受け難い マルチ被覆下で土壌中の塩分が低下していたことや栽培 跡地に塩分が残留してないことを鑑みると、砂土の場合 は土壌中の塩分が流去しやすいことを示唆している。筆 者らが砂土の除塩方法を検討した別の試験結果13)でも,

砂土は灌水や降雨で比較的簡単に除塩できることを確認している。津波の影響で砂地畑の作土が流亡しないことを前提にすると、津波被災後に砂土で農業を再開する際に除塩目標値をクリアすることは容易であろう。

#### (9) ネ ギ

ネギの生育、収量(第18、19図)および無処理区での 土壌 EC の上昇や全体的に土壌 pH が低下している状況 (第3, 4表) から、生育期間中は施肥の影響を受けて 土壌中の浸透圧が上昇していたと考えられる。施肥の影 響で土壌 EC が上昇したり、肥料の副成分が異なると農 作物に与えるストレスも変動することが知られてい る8。砂土は緩衝能が小さいため施肥の影響を受けやす い上に基肥の窒素施用量を化成肥料で10a 当たり15kg と比較的多く施用したため, 海水混和に加えて施肥によ る土壌中の浸透圧の上昇がネギの生育を抑制したと考え られる。ネギの発芽率や生育、収量及び品質から判断す ると, 化学肥料を多施用した砂土でのネギ栽培に海水由 来の塩分が加わるとネギの栽培は困難であった。従っ て、津波被災後に砂土でネギの栽培を再開するために は、土壌中の塩分を完全に除去する必要があると考えら れた。

#### (10) ラッキョウ

ラッキョウは土壌 EC が2.0になると他区に比べて収量が少なかった。ただし、土壌 EC が1.5を超えると出芽率が低下するため、ラッキョウの栽培が可能な土壌 EC は1.0以下、土壌中塩素含量は1.42  $(gkg^{-1})$  以下と考えられた。

#### (11) ダイコン

ダイコンは EC1.0区において播種した15粒が全て発 芽しなかった。また土壌 EC が1.5を超えると地上部の 生育や根重が劣ることから判断して、ダイコンの栽培が 可能 な土壌 EC は0.5以下、土壌 中塩 分含量 は0.65  $(gkg^{-1})$  と考えられた。

## 2 総合考察

以上述べてきた除塩目標値を一覧にすると第9表になる。本研究では試験区の土壌ECを0.3または0.5刻みの段階的な設定にしたため本目標値は真の意味での塩害限界指標を示したものではない。津波被災後に農耕地の土壌ECを少なくとも第9表の値まで低下させると栽培が開始できることを表している。言い換えると現場で除塩作業を実施する際の目標値として使用するための指標で

ある。

第9表をみると津波被災後の除塩作業が十分に進んでいない状態でも営農が再開可能な耐塩性の強い作目としてラッキョウやブロッコリーが挙げられる。次いで、土壌中の塩分がやや残留している条件(土壌 ECO.6程度)でも栽培できるのはカリフラワー、オクラ、ダイコン、水稲、レンコン等であろう。水稲やレンコンは湛水栽培し灌漑水による希釈効果が期待できるので除塩基準値はやや高めになった。

一方,ニンジン,キュウリ,サツマイモ,ネギは本県の栽培慣行を適用すると圃場を十分に除塩しない限り栽培を再開するのは困難である。特に,水の縦浸透が悪く除塩作業を効率的に実施し難い粘質土壌でこれら作目の栽培を再開するのは容易でないと思われる。除塩作業が比較的簡単に実施できる砂土では,除塩目標値の低いサツマイモやネギであっても早期の栽培再開が可能になると推測している。

ところで、前述したように本県の営農再開マニュアルでは、除塩作業前に津波堆積物を除去することを基本としているが、瓦礫が含まれていない場合には、早急に元の土壌と混層し降雨による自然除塩を期待することが望ましいがとの指摘もある。これは、被災後の早期の営農再開に向けて除塩期間の短縮やコストの低減等の観点から多大なメリットをもたらすため、今後の重要な検討事項である。このように東日本大震災からの農耕地の復旧経過を調査、研究した貴重なデータが多数報じられているので次回の営農再開マニュアル改定時に反映させたい。

最後に本報で示した除塩目標値が近い将来活用される 日が来るのを決して望んではいない。しかし、来るべき 巨大地震に対して日頃から備えを心掛けることを怠って はならない。

第9表 津波被災後の農耕地土壌における除塩目標値

品目	土性	土壌 EC (dSm <sup>-1</sup> )	土壌中塩素含量(gkg-1)
水稲	埴壌土	0.6	0. 83
ニンジン	埴壌土	0.3	0. 34
レンコン	埴壌土	0.6	0.83
カリフラワー	壌土	0.6	0.83
ブロッコリー	壌土	0.9	1. 32
キュウリ	壌土	0.3	0. 34
オクラ	壌土	0.6	0.83
サツマイモ	砂土	0.3	0. 34
ネギ	砂土	完全に除塩	完全に除塩
ラッキョウ	砂土	1.0	1.42
ダイコン	砂土	0. 5	0.65

## 摘 要

本県沿岸部の津波浸水想定地域において栽培面積が広い作目を対象に津波被災後の除塩目標値を検討した。

- 1) ラッキョウやブロッコリーは、津波被災後の除塩作業が十分に進んでいない農地でも営農が再開可能な耐塩性の強い作目である。
- 2) カリフラワー、オクラ、ダイコン、水稲、レンコンは土壌中の塩分がやや残留している条件でも栽培開始できる。
- 3) 一方, ニンジン, キュウリ, サツマイモ, ネギの栽培を再開するためには圃場を十分に除塩する必要がある。

## 引用文献

- 1)後藤逸男・稲垣開生(2015):津波被災農地の実態調査7.福島県相馬市の津波による農地の被災状況および堆積物の性質と処理対策. 日本土壌肥料学雑誌, 86(5):412~414.
- 2) 香川県農業経営課(2004):農地への海水の流入が 農作物に及ぼす影響とその対策.
- 3) 近藤始彦(2015):除塩対策に関する基礎情報2.作物の塩害生理と栽培管理.日本土壌肥料学雑誌,86(5):387~392.
- 4) 熊本県農政部(1999): 平成11年9月24日の台風18

号による農作物等被害状況及び対策.

- 5) 三浦憲蔵・伊藤豊彰・石黒宗秀・佐藤喬・菅野均 志・阿部倫則・後藤逸男(2016):津波被災農地の営 農再開における土壌肥料分野の貢献と課題。日本土壌 肥料学雑誌、87(2):153~158.
- 6) 文部科学省(2016): 地震調査研究推進本部長期予報. 文 部 科 学 省, http://www.jishin.go.jp/main/choukihyoka/ichiran.pdf
- 7) 日本土壌肥料学会津波による農地の塩害 WG (2011) : 津波・高潮による塩害 (1). 日本土壌肥 料学会, http://jssspn.jp/info/nuclear/post-23. html
- 8) 小野信一・藤井義晴 (1994) : ハウス栽培における土壌の塩類集積とその回避対策, 65(1):62~65.
- 9) 佐藤 喬(2015):津波被災農地の除塩対策3. 岩手 県の津波被災水田での土壌 EC を指標とした除塩後お よび塩類濃度が異なるポット栽培における水稲生育反 応. 日本土壌肥料学雑誌, 86(5):424~427.
- 10) 徳島県(1997): 土壌及び作物栄養の診断基準: 6 ~7
- 11) 徳島県(2006):主要農作物施肥基準.
- 12) 徳島県(2013):徳島県農業版業務継続計画:9.
- 13) 徳島県(2013): 徳島県農業版業務継続計画別冊 2 津波・塩害からの営農再開マニュアル.
- 14) 渡辺和彦 (2007) :塩 (海水ミネラル). 農業技術 大系土壌施肥編. 7-2:156の60~69.