

研究・技術ノート

東日本大震災による津波被害を受けた岩手県沿岸の水田の 除塩基準への温度影響

下野裕之¹⁾・熊谷悦史²⁾・君成田隆³⁾・伊藤美穂⁴⁾・高橋好範⁴⁾・佐々木信広¹⁾・洞井翔¹⁾

(¹⁾ 岩手大学農学部, ²⁾ 東北農業研究センター, ³⁾ 宮古農業改良普及センター, ⁴⁾ 久慈農業改良普及センター)

要旨：東日本大震災に伴う津波被害を受けた水田における除塩の基礎的な知見を得る目的で、現地圃場試験ならびに温度応答試験を実施した。現行の除塩基準で除塩を行なった岩手県の被災水田（土壌：水＝1:5抽出法電気伝導率（EC）0.1～0.6 mS cm⁻¹の範囲の6水田）に、岩手大学構内で育苗した水稻品種「あきたこまち」の苗を同一日に移植した。その水田間の生育の変動を気象影響（同一の市販培土を充填して各被災水田に埋め込んだポットでの生育と比較）と土壌影響（岩手大学構内で各被災水田の土壌を充填したポットにおける生育と比較）から解析した。圃場での開花期における地上部乾物重は、23～52 g 株⁻¹と大きな変異がみられた。その変動は、気象影響よりも土壌影響に強く依存したものの、本研究の範囲の土壌 EC や表面水 EC と圃場での地上部乾物重との間では有意な関係性は認められず、塩類濃度が関与しないことを示した。温度応答試験では、塩類濃度による水稻の栄養成長の抑制に温度が及ぼす影響を、2段階の気温条件（20.9, 25.4℃）と6段階の塩類濃度（NaCl 濃度 0～0.8%, 0～137mM＝EC 0.1～7.3 mS cm⁻¹）で評価した。最上位展開葉の蒸散速度は、高温条件において低温より高く、NaCl 濃度の上昇につれて低下した。地上部乾物重は高温に比べ低温条件で約 50% 小さかったが、高濃度塩類による地上部乾物重の低下は、高温条件では 0.8～2.3 mS cm⁻¹ にかけて大きくなるのに対し、低温条件では 2.3 mS cm⁻¹ まで低下がみられなかった。以上の本研究結果は、現行の除塩基準 EC 0.6 mS cm⁻¹ は寒冷地においても適切であるが、蒸散要求量が少なく低温の寒冷地では緩和することができる可能性を示した。

キーワード：塩害, 温度, 収量, 地震, 蒸散, 水稻, 津波。

2011年3月11日に発生した東日本大震災にともなう大津波が沿岸地域に押し寄せ、多くの人命を奪うとともに、我が国のコメの一大産地である東北の水田に海水による塩類集積をもたらした。その被害面積は2.0万haを越え、地域の内訳は、宮城県が全体の60%、続いて福島県が10%、岩手県が5%と続き、茨城県、青森県、千葉県でも被害がみられている（荒井（三王）ら2011）。被災水田における瓦礫撤去やヘドロ除去をはじめとする復旧対策の時間的・予算的制約などのため、2011年度については、それら地域では、ほとんど作付けが行われておらず、次年度以降の早期復旧が望まれる。

水稻は、塩ストレスに比較的弱く、また生育時期によって収量への被害程度また関与する収量構成要素が異なる（岩城1956, 荒井（三王）ら2011）。生育初期の塩類は乾物生産を通じて茎数増加に作用し、最終的な穂数・籾数の不足を原因とした減収をもたらす。生育中期の生殖成長期には、小穂退化によって籾数が低下するとともに花粉や雌しべの障害によって不稔を発生させる（岩城1956, Khatun and Flowers 1995, Aschら2001, 王ら2007）。植物体の塩害は、根圏からの水分吸収の抑制による水欠乏障害（Sultanaら2002, Munns 2002）に加えて、過剰に植物体内に吸収された塩（Na⁺, Cl⁻）による生理障害（山内1989, Akita

ら1990）によって生じることが知られている。

塩害の被害軽減の対策として、十分な真水が確保できる場合、集積した塩類を土壌から洗い流す除塩が最も有効な手段である。まず津波により持ち込まれ堆積したヘドロ層を除去した後に、十分な真水を用いて代かき、落水を数度、繰り返すことにより、除塩基準以下になるまで洗い流す。既存の事例では、除塩基準は、土壌の電気伝導率（electrical conductivity, EC）（1:5抽出懸濁液）で千葉県では0.5 mS cm⁻¹（千葉県農林部農業改良課1990）、熊本県では0.7 mS cm⁻¹（熊本県農政部2001）、香川県では0.9 mS cm⁻¹（香川県農業経営課2004）、岡山県では0.9 mS cm⁻¹（下瀬1953）（Cl 0.12%）と変異があり、現在、岩手県のEC基準は、それら地域と同程度の0.6 mS cm⁻¹（岩手県農林水産部2011）と設定している。しかしながら、既存の事例は、今回の被災があった東北以南の地域を中心としたものである。

寒冷地の東北地方では、暖地に比べて、特に移植直後の気温・水温が低く、葉面積展開や成長量が制限され、加えて、気温が低く大気飽差が小さくなる結果、葉面からの蒸散要求量が小さいことが想定される。根からのイオン吸収には、根の代謝が関わる積極的な吸収と蒸散作用に伴って生じる受動的な吸収がある。これまで、大気湿度を変化さ

第1表. 調査地点の津波被災状況, 除塩方法, 施肥管理 (2011年).

地点	緯度経度	被災状況	除塩方法と栽培	施肥方法				
				N (g m ⁻²)	P (g m ⁻²)	K (g m ⁻²)	基肥	追肥
盛岡市 (盛岡)	39° 42' N, 141° 8' E	被害なし	「ひとめぼれ」を5月10日に移植.	9.0	6.5	7.5	単肥, 窒素成分は, 緩効性肥料と硫酸を N成分で6:3で混合.	なし
宮古市 摂待 (宮古1)	39° 48' N, 141° 57' E	堆積層1~2 cmと海水	移植前に農業用水にて湛水浸透を 2回実施. 「どんびしゃり」を5月 25日に移植. 減水深1cm/日以下.	8.2	6.0	9.4	「いぶき」 60 g m ⁻² (8-10-10, NPK)	「NKC17号」 (17-0-17) 20 g m ⁻² (6月22日)
宮古市 摂待 (宮古2)	39° 48' N, 141° 58' E	堆積層1~2 cmと海水	移植後に農業用水にて入水落水. 「あきたこまち」を5月24日に移 植. 減水深1cm/日以下.	8.2	6.4	4.8	「スーパー SR コート 東北」40 g m ⁻² (16- 16-12, NPK)	「尿素」 4 g m ⁻² (6月8日)
野田村 長地地区 (野田村1)	40° 06' N, 141° 49' E	海水のみ浸入	移植前に農業用水を用いて, 湛水 浸透を6回実施. 「つぶみのり」を 6月10日に移植. 減水深1cm/日 以下.	5.8	5.6	7.2	「新みのり12号」 40 g m ⁻² (12-14-18, NPK)	「硫酸」 5 g m ⁻² (6月25日)
野田村 米田地区 (野田村2)	40° 05' N, 141° 49' E	堆積層1~2 cmと海水	移植前に農業用水を用いて湛水浸 透を3回実施 (暗渠未開放). 同 一水田内で, 塩分濃度が低い場所. 「いわてっこ」を5月27日に移植. 減水深1~2cm/日.	5.8	5.6	7.2	「新みのり12号」 40 g m ⁻² (12-14-18, NPK)	「硫酸」 5 g m ⁻² (7月29日)
野田村 米田地区 (野田村3)	40° 05' N, 141° 49' E	堆積層1~2 cmと海水	移植前に農業用水を用いて湛水浸 透を3回実施 (暗渠未開放). 同 一水田で塩分濃度が高い場所. 「い わてっこ」を5月27日に移植. 減 水深1~2cm/日.	5.8	5.6	7.2	「新みのり12号」 40 g m ⁻² (12-14-18, NPK)	「硫酸」 5 g m ⁻² (7月29日)

せた試験から, Na 吸収移行には蒸散作用が密接に関わり, 高湿度条件で地上部の Na 集積は少なくなることが報告されている (土屋ら 1992). このことは, 蒸散要求量の少ない寒冷地では, 暖地に比べて塩害が軽減されることが予測される. しかし, これまで, 塩害と様々な環境条件 (大気湿度 (土屋ら 1992, Asch ら 1995), 大気 CO₂ 濃度 (Pérez-López ら 2009), 根圏環境 (Naito ら 1994, Munns and James, 2003), 土壌乾燥 (王ら 2007)) との相互作用についての報告例はあるが, 塩類濃度と気温の交互作用について検討した例はない.

本研究では, 東日本大震災に伴う津波被害を受けた水田における除塩の基礎的な知見を得る目的で2つの試験を実施した. 1つには, 被災初年度の岩手県沿岸の現地圃場において, 現在の除塩基準 0.6 mS cm⁻¹ でどの程度, 塩害を軽減できるのか評価した. もう1つには, 寒冷地の気象条件にあった除塩基準策定のため, ポットを用いた塩類濃度 × 気温の相互作用の評価を目的とした. なお, 塩害に伴う収量低下の多くは, 乾物生産の抑制による穂数・籾数の減少を主な要因と指摘されていることから (岩城 1956, 荒井 (三王) ら 2011), 開花期までの栄養成長期の乾物生産に着目して解析した.

材料と方法

1. 圃場試験

津波被害を受けた異なる塩類濃度の4地点計6圃場 (岩手県宮古市1地点2圃場, 野田村2地点3圃場, 対照としての盛岡市1地点1圃場) で試験を実施した (第1表). これらの圃場はすべて除塩作業が行われており, 2011年5月下旬~6月上旬に農家が選択した品種が移植されていた. 本研究では, それら水田の一部を岩手大学ガラス室で育成した品種「あきたこまち」の苗 (葉齢6.8) に植え直して試験を行った. 6月10日に1株3本で, 21株 (3条 × 7株) を各圃場2箇所にて定植した. この試験においては, 異なる地点に同一苗を, 同一日に移植することで, それら地点の土壌ならび気象の影響を評価する (以下, 本試験を (1) 圃場と称す). しかし, その条件では, 土壌条件と気象条件の影響を切り離すことができない. そのため, 以下の2条件による評価も行なった. 1つには, 気象条件の影響を評価するため, 土壌・肥料を詰めた1/5000aポット (水稻育苗用無肥料培土 ((株) アイケイ社製, 秋田) に化成肥料 (N 0.6 g, P₂O₅ 0.6 g, K₂O 0.6 g) を混和・充填) を各圃場に3ポットずつ埋め込み, 圃場試験で用いた「あき

第2表. 調査地点の気温、水温、日照時間ならびに水田の土壌と表面水の EC (mS cm^{-1}) の変化.

地点	気温 ($^{\circ}\text{C}$)	水温 ($^{\circ}\text{C}$)	日照時間 (h)	EC (mS cm^{-1})					
				土壌			表面水		
				6月27日	8月19日	減少率 (%)	6月27日	8月19日	減少率 (%)
盛岡	23.3 ± 3.2	24.6 ± 1.7	5.1 ± 4.1	0.09	0.04	56	0.30	0.20	32
宮古1	21.1 ± 3.7	23.2 ± 2.3	5.1 ± 4.2	0.07	0.02	71	0.30	0.09	69
宮古2				0.46	0.10	78	1.60	0.47	71
野田村1		23.0 ± 2.8		0.61	0.18	70	4.89 ¹⁾	0.26	95
野田村2	21.0 ± 3.5	23.4 ± 2.2	5.2 ± 4.2	0.41	0.12	71	0.35	0.10	71
野田村3				0.61	0.08	87	0.67	0.10	85

土壌 EC は風乾後、水と 1:5 の比率で混合し、1 時間振揺後の懸濁液について計測。気温と日照時間は 2011 年 6 月 10 日～8 月 19 日についての平均値 ± 標準偏差を示す。¹⁾ 落水条件での表面水 EC のため過大評価の可能性、推定値は 1.00 mS cm^{-1} 。

たこまち」の苗を移植した（以下、(2) 気象影響）。なお、この影響には、水田へ供給される灌漑水の影響も含まれる。もう 1 つは、土壌条件の影響を評価するため、すべての水田より土壌を同日にサンプリングし、岩手大学構内にて 1/5000 a ポットに詰め、圃場試験で用いた「あきたこまち」の苗を翌 6 月 11 日に移植し、水道水による湛水条件で生育させ、気象影響を除いた土壌ならびに施肥そのものの影響を評価した（以下、(3) 土壌影響）。なお、土壌影響には追肥を行なう前の土のため（「宮古 2」を除く）、基肥と土壌の影響をみることになる。また、1 つの水田（「宮古 2」）では移植後に除塩を行っているため、移植時において農家が植えつけた苗の葉先に塩害による枯れが認められた。

8 月 19 日に草丈、茎数、最上位展開葉の SPAD 値を計測後、それらすべての個体を地際で 3 個体ずつ刈り取り、地上部乾物重（ 80°C で 72 時間以上乾燥）を計測した。なお、サンプリング時の生育ステージは穂揃い後の開花盛期に相当した。作土層（0～10 cm）の土壌の EC は、定法に則り、風乾させた土壌 10 g に 50 ml の蒸留水を加えて、1 時間振揺後に、懸濁液の EC を EC メーター（HI9813-6, HANNA instruments, Woonsocket, RI, USA）にて計測した（土壌環境分析法編集委員会 2003）。また、水田の表面水の EC も計測した。気温ならびに日照時間は、最寄の気象庁のデータを用いた。また、水田の水温はデータロガー（TR-52, (株) T&D corp., 松本）にて計測した。

2. 温度応答試験

東北農業研究センターの温度勾配チャンバー（Okada ら 2000）を用い、2 段階の温度条件で評価した。1/5000 a ポット（排水口あり）に水稲育苗用無肥料培土に化成肥料（N 0.6 g, P_2O_5 0.6 g, K_2O 0.6 g）を混和・充填し、6 段階の塩類条件に塩化ナトリウムで調整した溶液（塩化ナトリウム濃度 0%, 0.025%, 0.050%, 0.150%, 0.400%, 0.800% = EC 計測値 0.1, 0.4, 0.7, 1.9, 5.2, 7.3 mS cm^{-1} ）をバケツ（8 L）に 5 L 貯め、それにポットを沈めた。それらに岩手大学で育成した水稲品種「あきたこまち」の苗（5.8 葉期、1 株 3 本植えて 1 ポットあたり 2 株を離れた

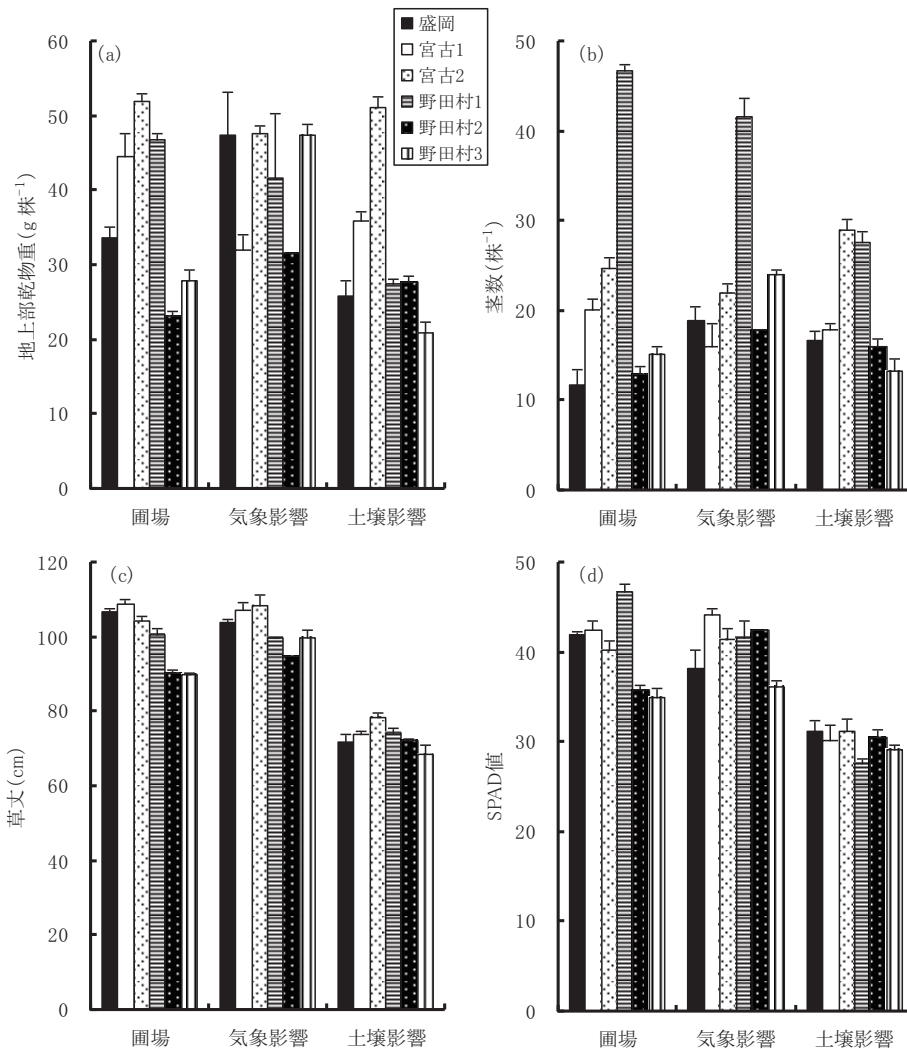
位置）を 2011 年 7 月 8 日に移植し、湛水条件で 2 段階の温度条件で生育させた。温度条件は温度勾配チャンバーの入り口からの位置の違いで生じさせ、入り口から 3 m の位置を低温区、20 m の位置を高温区とした。生育期間中（7 月 8 日～8 月 11 日）の気温は低温区で $20.9 \pm 1.6^{\circ}\text{C}$ （平均値 ± 標準偏差）、高温区で $25.4 \pm 1.6^{\circ}\text{C}$ 、水温は低温区で $22.8 \pm 1.8^{\circ}\text{C}$ 、高温区で $26.1 \pm 1.8^{\circ}\text{C}$ となり、気温については 4.5°C 、水温については 3.3°C の差が生じた。また大気飽差は低温区において $0.28 \pm 0.07 \text{ kPa}$ 、高温区において $1.02 \pm 0.13 \text{ kPa}$ となった。試験 1 と同一の EC メーターにて、移植直前ならび移植後 0, 23, 34 日目にポットの表面水 EC を計測した。生育期間中の管理は、植物ならびに表面からの蒸発散により減った水分を水道水を足すことで、生育期間を通じ 6 段階の塩類濃度に維持した。

塩類濃度と温度が地上部乾物重に及ぼす影響を評価するため、移植後 13 日目と移植後 34 日目に、各ポット 1 株（6 NaCl 濃度 × 2 温度）について、草丈、茎数、最上位展開葉の SPAD 値を計測後、もう一方の株を傷めぬように慎重に抜き取り、地上部乾物重（ 80°C で 72 時間以上乾燥、各 EC 条件 4 株ずつ）を計測した。なお、植物が枯死した 7.3 mS cm^{-1} における茎数、草丈、SPAD 値は計測不能であり、地上部乾物重以外のデータが欠損した。また、気孔コンダクタンスと葉温を最上位完全展開葉（1 枚 / 株）についてポロメーター（SC-1, Decagon Devices, Inc., Pullman, WA, USA）を用いて移植後 33 日目に計測し、大気圧、気温、葉温、相対湿度から、蒸散速度を算出した（松尾ら 2009）。

結 果

1. 圃場試験

生育期間中の環境条件は、対照の盛岡では気温が 23.3°C 、水温が 24.6°C 、日照時間が 5.1 時間であったのに対して、沿岸部の宮古と野田村では気温、水温がそれぞれ $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 低く、日照時間は差異が認められなかった（第 2 表）。EC は、移植時の 6 月 27 日には対照となる盛岡の水田では、土壌が 0.09 mS cm^{-1} 、また表面水は 0.30 mS cm^{-1}

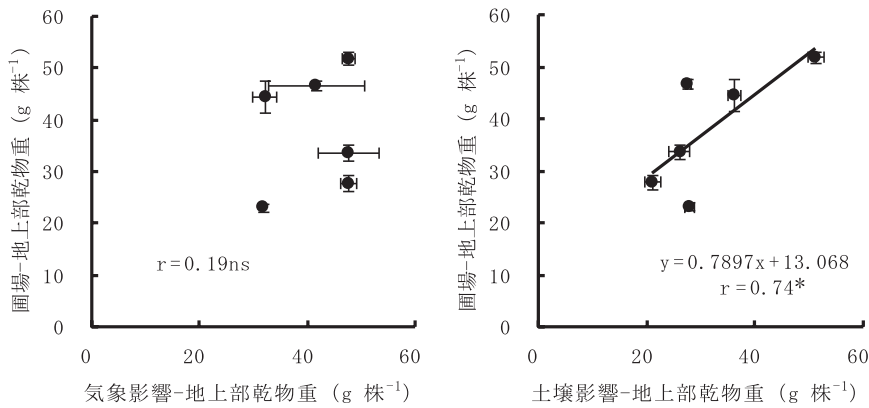


第1図 岩手県沿岸の調査圃場における水稻の出穂期の地上部乾物重、茎数、草丈、SPAD値。
圃場は、圃場条件に植えつけた水稻を、気象影響は、同一土壌、肥料を詰めたポットで各地で育てた水稻、土壌影響は、土壌を持ち帰り、盛岡で生育させた水稻をそれぞれ示す。棒線は標準誤差 (n=3 ただし、圃場での茎数、草丈は n=6) を示す。

であった。宮古と野田村の各水田では、土壌 EC が移植直後において $0.07 \sim 0.61 \text{ mS cm}^{-1}$ の範囲に、表面水 EC が比較的高い $0.30 \sim 4.90 \text{ mS cm}^{-1}$ であった。しかし、8月19日になると、いずれの地点の EC も低下し、その低下率は沿岸部の土壌 EC で $70 \sim 87\%$ 、表面水 EC で $69 \sim 95\%$ であった。なお、「野田村1」の水田（表面水 EC 4.90 mS cm^{-1} ）の表面水採取は、移植のため落水条件で行われたことから、実際に湛水条件とした場合より高い EC となったと考えられた。なお、土壌 EC と表面水 EC の間に一定の関係があるため、「野田村1」の水田における移植時の値以外を用いて、土壌 EC と表面水 EC との間関係を検討したところ、回帰式（表面水 EC = $1.46 \times$ 土壌 EC + 0.113 , $R^2 = 0.45$, $n = 11$ ）が得られた。この回帰式から移植直後の湛水条件における「野田村1」の表面水 EC は 1.0 mS cm^{-1} と推定された。

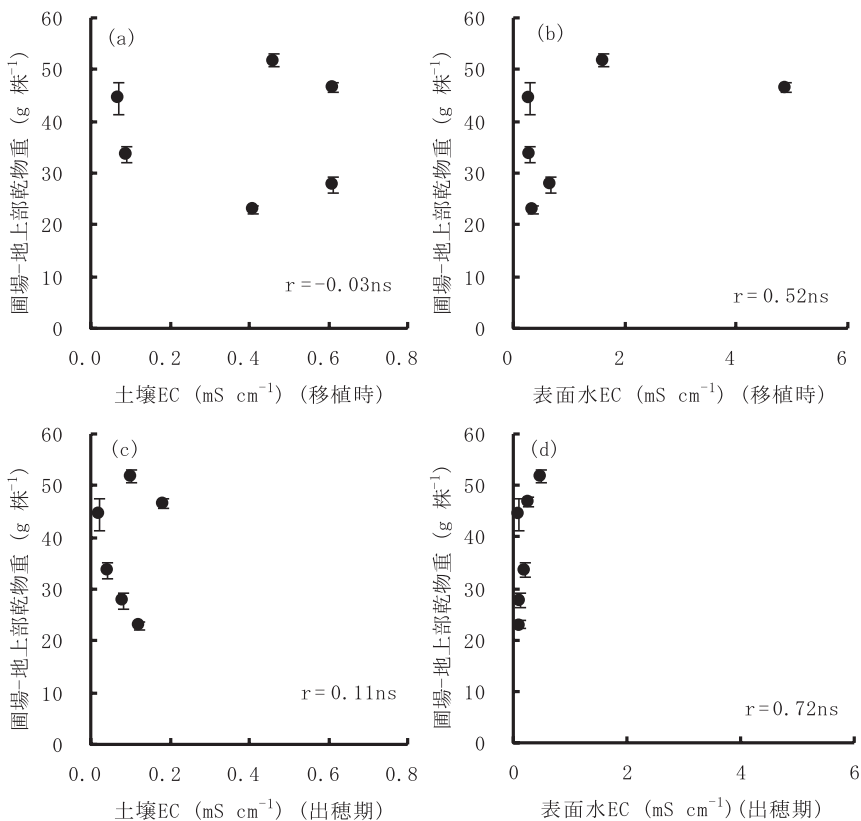
地上部乾物重は、圃場条件でみると、 $23 \sim 52 \text{ g 株}^{-1}$ と大

きな変異がみられた（第1図 a）。対照の盛岡と比較して、宮古の2地点、野田村の1地点が大きく、他の2地点が小さかった。気象影響（同一ポットを圃場に埋め込んで評価）についてみると、地上部乾物重は、温度が高かった盛岡が最も高く、いずれの地点も盛岡を上回ることにはなかった。一方、土壌影響（同一気象条件で異なる土壌で評価）の相対的な地点間の関係は、圃場条件の地上部乾物重の変動とほぼ一致した ($r = 0.74$, $P < 0.05$, 第2図)。すなわち、土壌（施肥量を含む）の違いが、圃場条件による乾物重の地域間の変動要因であることを示唆した。しかし、土壌 EC ならびに表面水 EC と圃場における地上部乾物重との間に明瞭な関係が認められなかった（第3図）。なお、地上部乾物重の地点、栽培条件による変動は、草丈 ($r = 0.62$, $P < 0.01$, $n = 18$, 第1図 c) や SPAD 値 ($r = 0.43$, $P < 0.05$, 第1図 d) に比べて、茎数 ($r = 0.86$, $P < 0.001$, 第1図 b) でより多くの部分を説明できた。



第2図 岩手県沿岸の調査圃場における水稻の出穂期の地上部乾物重への土壌ならびに気象の影響。

圃場、気象影響、土壌影響は第1図の説明参照。棒線は標準誤差 (n=3) を示す。



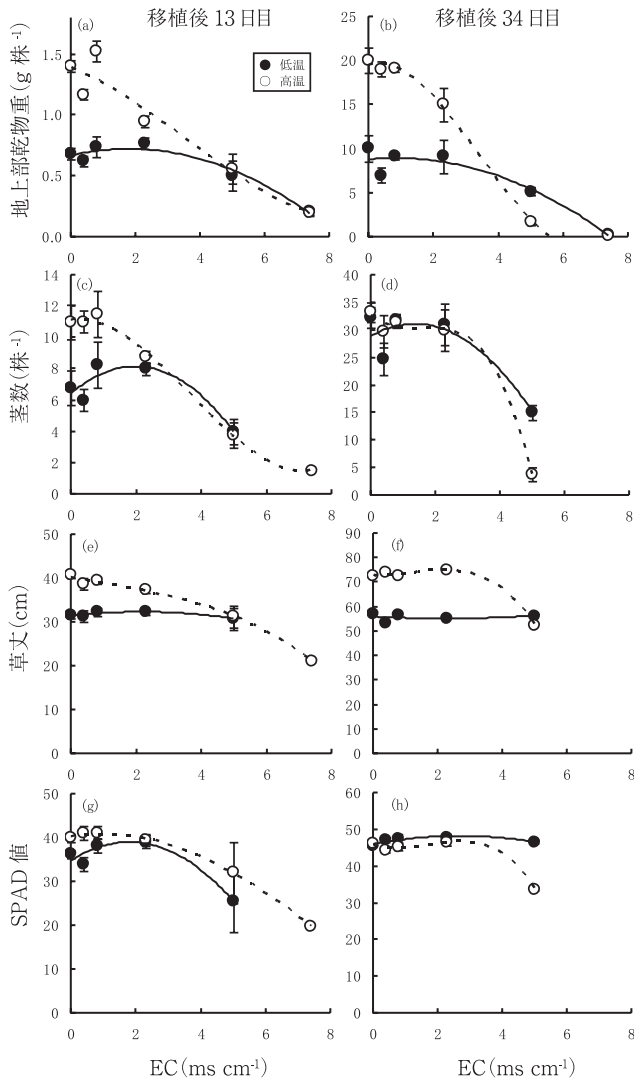
第3図 岩手県沿岸の調査圃場における水稻の出穂期の地上部乾物重と、移植時 (6/27, ab) ならび出穂期 (8/9, cd) における土壌 EC (ac) および表面水 EC (bd) との関係。

棒線は標準誤差 (n=3) を示す。

2. 温度応答試験

地上部乾物重は、NaCl 濃度 0% (EC 0.1 mS cm⁻¹) の条件でみると、移植後 13 日目、34 日目ともに高温に比べ低温で 49~50% 小さかった (第4図 a, b)。高温、低温の両条件において、両時期ともに塩類濃度の上昇につれ地上部乾物重は低下したが、その低下した濃度が温度条件により異なった。高温条件においては、0.8 mS cm⁻¹ から 2.3 mS

cm⁻¹ にかけて大きく低下したのに対して、低温条件においては 2.3 mS cm⁻¹ まで低下しなかった。塩類濃度に対する地上部乾物重の応答の多くは、茎数の応答で説明でき (第4図 c, d)、また温度間の差は特に草丈にみられた (第4図 e, f)。一方、SPAD 値については、他の形質に比べて、特に移植後 34 日目において、温度と塩類濃度に対する応答が小さかった (第4図 g, h)。



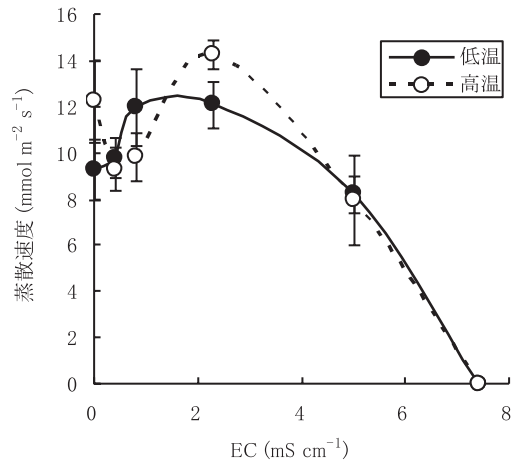
第4図 NaCl濃度と気温が水稻の栄養成長期の地上部乾物重、草丈、茎数、SPAD値に及ぼす影響 (温度応答試験)。

a, c, e, g 移植後13日, b, d, f, h 移植後34日目。棒線は標準誤差 ($n=4$) を示す。なお、植物が枯死した 7.3 mS cm^{-1} 条件の茎数、草丈、SPAD値は計測不能であり、地上部乾物重以外のデータが欠損した。

移植後33日目の最上位展開葉の蒸散速度は、温度処理間で比較すると $EC 2.3 \text{ mS}^{-1}$ において、高温条件が低温条件より高いものの、全体として大きな差異は認められず、 EC の増加に伴い低下した (第5図)。

考 察

本研究を行った岩手県の被災圃場は津波による海水の流入があったものの、十分な除塩を行っており、土壤 EC が除塩基準 (岩手県農林水産部 2011) の 0.6 mS cm^{-1} 以下まで抑えられていた (第2表)。その結果、本研究で、同一品種の苗を同一日に移植して生育させ、開花期に計測した地上部乾物重には、地点により大きな変異があるものの、その変異は土壤 EC ならびに表面水 EC では説明できなかつ



第5図 異なる NaCl濃度と気温条件における水稻の最上位展開葉の蒸散速度 (温度応答試験)。棒線は標準誤差 ($n=4$) を示す。

た (第1図 a, 第3図)。このことは、塩類濃度の違いが乾物生産に作用していないことを示し、現在の除塩基準が妥当であることを確認した。

注目すべきは、湛水条件で栽培する期間中にわずか2ヶ月で最大87%も土壤 EC が低下し、8月中旬には、ほぼ正常値の 0.18 mS cm^{-1} 以下にすべての水田において低下していた点である (第2表)。水稻の塩類濃度に対する感受性ならびにその結果としての被害は、生殖成長期に大きいことが知られているものの (岩城 1956, Khatun and Flowers 1995, Asch ら 2001, 王ら 2007), 本知見は生育初期に障害が出ない範囲にあり、かつ十分な真水があり、適切な水浸透があるような条件では、ある程度、土壤の塩類濃度が高くとも、不稔発生に繋がらないと考えられた。実際、本年度について、各農家圃場で植えつけられた各品種について、いずれの地点においても塩害による障害型不稔を確認していない。

温度勾配チャンバーを用いた温度応答試験による $20.9 \sim 25.4^\circ\text{C}$ の気温条件において、低温条件では塩害による被害が相対的に軽減されることを明らかにした (第4図)。乾物生産が抑制された EC は高温条件 (気温 25.4°C) が $0.8 \sim 2.3 \text{ mS cm}^{-1}$ 、低温条件 (20.9°C) で 2.3 mS cm^{-1} であった。この要因として、単位葉面積あたりの蒸散速度には大きな差がないものの (第5図)、低温条件では植物体が小さく、葉面積も小さいため、蒸散要求量が小さくなったためと推察された。低い蒸散要求条件における塩類障害の軽減については大気湿度を制御した試験で報告されている (土屋ら 1992, Asch ら 2001)。なお、温度勾配チャンバーでは気温のみを制御しており、大気湿度を制御していない。そのため、低温ほど飽和水蒸気圧が低く、高湿度条件となり、単純に同一大気湿度における温度のみの影響ではなく、大気湿度の影響も含んでいるため、温度の影響を過大評価している可能性がある。しかし、実際の野外条件でも、大気温度と飽和水蒸気圧との物理的な関係は同一であり、本

研究で得られた気温×塩類濃度の相互作用についての知見は適応可能と考える。

現地の被災圃場の生育期間中の気温は21.0~21.1℃(第2表)であり、温度応答試験の低温条件に近かった。このことは、暖地を中心とした塩害の被害報告(下瀬1953, 千葉県農林部農業改良課1990, 香川県農業経営課2004, 熊本県農政部2001)と同程度とした現在の除塩基準を緩和できる可能性が示唆された。ただし、温度応答試験の結果は、高温と低温条件の相対的な比較という上では有効であるものの、ECの絶対値について温度応答試験の結果を現地圃場と比較する上では、いくつかの違いを考慮する必要がある。第一に、実際の被災圃場では海水の影響であるのに対して、温度応答試験ではNaClの効果のみをみている点、第二に、水稻育苗用培土を用いた温度応答試験では、湛水したECがそのまま植物の根圏に作用すると仮定し、湛水した水のECで評価した。実際の圃場における基準の土壤ECは土壤と水を1:5混合希釈し計測するため、ECの絶対値に違いがある可能性がある。第三に、温度応答試験で使用した土壤は水稻育苗用培土であり、水田土壤とは異なる。土質により塩害の被害程度が異なることが報告されている(曾根ら2011)。以上のような制限があるため、今後、実際の現地の圃場条件で、除塩基準の絶対値の検証を行なう必要があるものの、少なくとも暖地の基準よりは緩和できる可能性が示唆され、津波被害を受けた水田の早期復旧に貢献する可能性を示した。

以上、ポットと現地圃場を用いた本試験により、現行の除塩基準の妥当性ならびに寒冷地に適応させた緩和の可能性を示した。

謝辞：岩手大学農学部作物学研究室学生諸氏にご協力いただいた。東北農業研究センター・鮫島良次氏には気象の観測をしていただいた。現地圃場の位置観測のためのGPSを岩手大学農学部・築城幹典准教授よりお借りした。

引用文献

Akita, S. and G.S. Cabuslay 1990. Physiological basis of differential response to salinity in rice cultivars. *Plant Soil* 123: 277-294.
 荒井(三王)裕見子・小林伸哉・吉永悟志・高井俊之・近藤始彦 2011. 水稻の塩害とその対策. *農及園* 86: 737-742.
 Asch, F. and M.C.S. Wopereis 2001. Responses of field-grown irrigated rice cultivars to varying levels of floodwater salinity in a semi-arid environment. *Field Crops Res.* 70: 127-137.
 千葉県農林部農業改良課 1990. 第3章 被害防止対策. *農林公害ハンドブック*. 千葉県農林部. 千葉県. 110-112.

土壤環境分析法編集委員会 2003. 電気伝導率. *土壤環境分析法*. 博友社, 東京. 202-204.
 岩城鹿十郎 1956. 水稻の塩害に関する研究. *愛媛大学紀要* 2: 1-155.
 岩手県農林水産部 2011. 東北地方太平洋沖地震災害の復旧・復興に係る営農技術等対策マニュアル第2版. 岩手県. 1-8.
 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. 香川県. 1-14.
 Khatun, S. and T.J. Flowers 1995. Effects of salinity on seed set in rice. *Plant, Cell and Environ.* 18: 61-67.
 熊本県農政部 2001. 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. 熊本県. 1-130.
 松尾奈緒子・三木直子・廣部宗 2009. ガスチャンバー法(同化箱法)および重量法による個葉の蒸散特性の評価. *低温科学* 67: 137-142.
 Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environ.* 25: 239-250.
 Munns, R. and R.A. James 2003. Screening methods for salinity tolerance: a case study with tetraploid wheat. *Plant Soil* 253: 201-218.
 Naito, H., M. Tsuchiya and S. Kumano 1992. Physiological response to salinity in rice plant. II. Relationship of sodium exclusion to transpiration and root-respiration rates in NaCl-treated rice plant. *Jpn. J. Crop Sci.* 63: 320-325.
 Okada, M., T. Hamasaki and R. Sameshima 2000. Pre-air-conditioned temperature gradient chambers for research on temperature stress in plants. *Biotronics* 29: 43-55.
 Perez-Lopez, U., A. Robredo, M. Lacuesta, A. Mena-Petite and A. Muñoz-Rueda 2009. The impact of salt stress on the water status of barley plants is partially mitigated by elevated CO₂. *Environ. Exp. Bot.* 66: 463-470.
 下瀬昇・池宗勝三郎 1953. 干拓地に於ける作物の生理化学的研究 第1報 塩成干拓地の水稻に対する施肥の効果について. *岡山大農学報* 3: 22-30.
 曾根千春・津田誠・平井儀彦 2011. 土壤の違いが種間雑種NERICA系統の塩条件下におけるNa蓄積に及ぼす影響. *日作紀* 80: 333-340.
 Sultana, N., T. Ikeda and M.A. Kashem 2002. Effect of seawater on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. *Photosynthetica* 40: 115-119.
 土屋幹夫・内藤整・江原宏・小合龍夫 1992. 塩分濃度に対するイネの生理反応に関する研究 第1報 蒸散とNa⁺の吸収移行の関係について. *日作紀* 61: 16-21.
 王俊剛・津田誠・平井儀彦 2007. 塩土壌における幼穂形成期の水ストレスに対するイネの感受性の増加. *日作紀* 76: 540-547.
 山内益夫 1989. イネにおける耐塩性の品種間差の発現機構. 耐塩性の品週間差とナトリウムの吸収・移行特性との関係(第2報). *土肥誌* 60: 210-219.

Interactive Effects of Soil Salinity and Temperature on Vegetative Growth of Rice after Flooded by TSUNAMI 11 March 2011 : Hiroyuki SHIMONO¹⁾, Etsushi KUMAGAI²⁾, Noboru KIMINARITA³⁾, Miho ITO⁴⁾, Yoshinori TAKAHASHI⁴⁾, Nobuhiro SASAKI¹⁾ and Kakeru HORAI¹⁾ (¹⁾*Fac. Agric., Iwate Univ., Ueda 3-18-8, Morioka 020-8550, Japan Iwate Agric. Res. Center;* ²⁾*National Agric. Res. Center for Tohoku region;* ³⁾*Miyako Nougyou-kairyofukyuu Center;* ⁴⁾*Kuji Nougyou-kairyofukyuu Center*)

Abstract : To investigate the effects of desalinization of the field caused by the March 2011 Tsunami on rice growth, we grew rice cultivar 'Akitakomachi' at six tsunami-covered field spots in Iwate Prefecture, which were desalinized to a level below a criterion of $0.6 \text{ mS cm}^{-1} \text{ EC}$, and examined their growth. Besides this field experiment, the rice seedlings grown in Iwate University campus were transplanted to pots filled with the culture soil on the market, and grown at the six desalinized fields (pot expt 1). In addition, another group of the same seedlings were transplanted to the pots filled with the soil from either one of the six desalinized fields and grown in Iwate University campus (pot expt 2). The dry weight at the flowering stage of the plants in the field varied greatly with the spot from 23 to 52 g plant^{-1} , and was closely correlated with that in pot expt 2, but not with that in pot expt 1. However, the dry weight was not significantly correlated with the electrical conductivity (EC) of the soil and surface water, which confirmed the effectiveness of the criterion of desalinization. To evaluate the interactive effects of soil salinity with air temperature on rice vegetative growth, we grew rice plants under two temperature conditions (20.9 and 25.4°C) and six NaCl salinity conditions (0.1~7.3 $\text{mScm}^{-1}\text{EC}$). Leaf transpiration, which was higher at a high temperature than at a low temperature, was significantly reduced by high salinity. High salinity suppressed the vegetative growth and decreased dry weight at 0.8~2.3 $\text{mScm}^{-1}\text{EC}$ at a high temperature, but not at less than 2.3 $\text{mScm}^{-1}\text{EC}$ at a low temperature. These experiments suggested that the criteria for desalinizing soil, $0.6 \text{ mScm}^{-1}\text{EC}$, can be alleviated in cooler climate regions.

Key words : Earthquake, Rice, Salinity, Temperature, Transpiration, Tsunami, Yield.
