

NPO 無施肥無農薬栽培調査研究会 2015 年度研究報告会

開催日時：2016年3月13日（日） 13：00～16：30

会 場：Reimei Hall（京都市左京区吉田神楽岡町）

表題・報告者

1. 無施肥無農薬栽培においてポット育苗での充填土壌の違いが水稻の生育・収量に及ぼす影響
…… 丸田信宏・栗田光雄（無肥研） 1
2. 無施肥無農薬栽培水田における土壌とかんがい水が収量形成に及ぼす影響(第4報)
…… 伊吹克也・家田善太・栗田光雄（無肥研） 5
3. 長期無施肥水田の土壌養分動態およびイネの養分吸収—2015年の調査結果—
… 多田羅翔子¹・本間香貴²・栗田光雄^{1,3}・小林正幸³・白岩立彦¹（¹京大院農、²東大院農、³無肥研） 12
4. 分けつ数の抑制が無施肥栽培水稻の生育に及ぼす影響
… 家田善太・栗田光雄（無肥研） 19
5. 品種と水田の違いが無施肥無農薬栽培における水稻の生育・収量に及ぼす影響
…… 丸田信宏・栗田光雄（無肥研） 24
- (休憩)
6. イネ品種「ベニアサヒ」の全ゲノム配列解読
…… 宅野将平（総合研究大学院大） 29
7. 耕地生態系における生物間相互作用から無施肥無農薬農業の収量安定性の要因を探る
…桂圭佑¹・潮雅之²・小澤理香³・小出陽平⁴・齊藤大樹¹・塩尻かおり⁵・下野嘉子¹・杉山暁史⁶・東樹宏和⁷・高林純示³（¹京大院農、²龍大科技研、³京大生態研、⁴京大白眉、⁵龍大農、⁶京大生存研、⁷京大人環研） 33
8. 無施肥無農薬栽培の生産実態と生産拡大に関する分析
…… 上西良廣（京大院農）・小林正幸（無肥研） 35
9. 【話題提供】東北地方における水稻の無施肥無農薬栽培の現状と課題
…… 細谷啓太（岩手大院連合農） 40
10. 【資料報告】異なる水田における無施肥無農薬栽培水稻の玄米収量の経年変化
…… 小林 正幸（無肥研） 44

無施肥無農薬水稻栽培において
ポット育苗での充填土壌の違いが
水稻の生育・収量に及ぼす影響
報告者 丸田信宏・栗田光雄（NPO 無肥研）

無施肥無農薬栽培水田では、これまでに生育や収量について多くの調査が行われてきた（長谷川ら（1979）,Okumura（2002）,家田（2008~）,丸田（2009~）など）。一般に、苗の良否が本田での生育や収量を左右すると考えられているが、無施肥での水稻栽培の苗については今までほとんど調査されてこなかった。そこで、育苗条件の違いが無施肥栽培に及ぼす影響を調べる一環として、無肥研で用いているポット育苗のポットに充填する土壌を異にした場合の水稻の生育・収量を調査している。ポットに充填する土壌として、無施肥栽培の場合は圃場の土に山砂を混ぜて用いることが一般的であるが、大規模農家では購入培土を用いることが多いので、購入培土を含め、圃場土壌に加える砂の量に段階をつけた処理区を設けた。2014年に亀岡試験水田において秋の詩を用いて行った調査では、ポット充填土壌の違いが収量に影響を及ぼすことが示唆されているので、無肥研の管理する京都府と滋賀県の水田圃場において、いくつかの品種を用いて、育苗ポットに充填する土壌の差異が水稻の生育および収量に及ぼす影響について検証した。

【材料および方法】

・栽培方法

実験には早生の「コシヒカリ」、中生の「秋の詩」、晩生の「ベニアサヒ」の3品種を用いた。籾は脱芒機で芒を除き、塩水選を行った後、温湯浸法で消毒、吸水させ、前日に加温して催芽させ、ポット育苗箱に播種した。育苗箱はみのる産業株式会社製ポット448育苗箱（1ポット寸法：直径16mm×深さ25mm）を用いた。育苗箱の1ポットに1粒ずつ播種した。籾は前年度に採種したものを使用した。

育苗は、滋賀県野洲市および京都市山科区の水田折衷苗代で行った。苗代に寒冷紗を敷き、播種後すぐに育苗箱を置床し、湛水状態で育苗した。それに被覆材としてポリエステル繊維不織布（ユニチカ製 ラブシート）をかけ、さらにトンネルで保温した（3月29日播種分は4月30日にトンネルを、5月4日にラブシートを、4月12日播種分は5月6日にトンネルを、11日にラブシートをそれぞれ外した）。

育苗後は、京都府亀岡市の2水田（K1,K2）、滋賀県野洲市の水田（Y）、京都府宇治

市小倉の水田(O)へ条間 33cm,株間 18cm (栽植密度 16.8 株/m²) で移植した.移植前日に,苗代から育苗箱は剥がし取るので,ポットから苗代に伸びた根はその時に切り取られている.除草は代掻き後 13 日目を 1 回目とし,その後約 10 日おきに計 3 回行った.水管理は,収穫約 3 週間前まで湛水状態を維持した.収穫は表に示した日にそれぞれ行った.

・試験区分

第1表 試験区分

調査区	育苗土	品種	苗代	本田	播種日	本田移植日	育苗期間	収穫
A(秋圃)	圃場土壌	秋の詩	野洲	亀岡(K1, K2)	3月29日	5月16日	48日間	10月3日
B(秋半)	圃場+砂	秋の詩	野洲	亀岡(K1, K2)	3月29日	5月16日	48日間	10月3日
C(秋培)	購入培土	秋の詩	野洲	亀岡(K1, K2)	3月29日	5月16日	48日間	10月3日
D(コシ圃)	圃場土壌	コシヒカリ	野洲	野洲(Y)	3月29日	5月17日	48日間	9月4日
E(コシ半)	圃場+砂	コシヒカリ	野洲	野洲(Y)	3月29日	5月17日	48日間	9月4日
F(コシ培)	購入培土	コシヒカリ	野洲	野洲(Y)	3月29日	5月17日	48日間	9月4日
G(ベニ圃)	圃場土壌	ベニアサヒ	山科	小倉(O)	4月12日	5月30日	48日間	10月17日
H(ベニ半)	圃場+砂	ベニアサヒ	山科	小倉(O)	4月12日	5月30日	48日間	10月17日
I(ベニ培)	購入培土	ベニアサヒ	山科	小倉(O)	4月12日	5月30日	48日間	10月17日
S(秋砂)	砂	秋の詩	野洲	亀岡(K1, K2)	3月29日	5月16日	48日間	10月3日

試験は 4 種類の育苗土 (圃場土壌・圃場+砂・購入培土・砂), 3 種類の品種 (コシヒカリ・秋の詩・ベニアサヒ) をそれぞれ異にする調査区を第 1 表の通り設けた.育苗後は,秋の詩は京都府亀岡市の 2 筆の水田で,コシヒカリは滋賀県野洲市の水田で,ベニアサヒは京都府宇治市小倉の水田にそれぞれ移植した.

育苗土で「圃場土壌」および「購入培土」は,それぞれの圃場土壌および無肥料粒状育苗培土「びわこ 1 号」(びわこ産業株式会社製)と川砂をおよそ 7:1~8:1 で混ぜ合わせたもの,「圃場+砂」は圃場土壌と砂を 1:1 で混ぜ合わせたもの,「砂」は砂のみのものをそれぞれ育苗ポットに充填したものである.

・調査項目

- ①本田移植日に,各区の連続 10 ポット×6 反復について,良苗歩合(播種数に対する良苗の割合.良苗は平均草丈の 2/3 以上を目安とした)・草丈・葉齢を測定した.また,各区 30 本×2 反復の地上部,根部の生体重と乾重を計測した.(乾物重は乾燥機で 70℃,48 時間乾燥させ測定)
- ②それぞれの水田に各調査区を 2 反復設け,本田移植後 7 日目より,それぞれ連続 10 株について,茎数と草丈, SPAD 値(ミノルタ SAPD-502 を使用)を約 2 週間おきに測定した.
- ③収穫後に,生育調査した全株について収量諸形質を計測した.統計処理は要因および交互作用の効果を判定するには分散分析,試験区間の差の比較にはチューキーの多重比較を用いた.

【試験結果および考察】

本田移植前

良苗歩合は、充填土壌の比較では、購入培土区は他の2区よりも有意に高かった(図1)。それは、購入培土は粒状のため間隙が多く、根の伸長に障害が少ないことが要因の一つかもしれない。圃場土壌区と圃場+砂区の間には、有意差はなかったことから、圃場土壌に混ぜる砂の量の差が本実験程度であれば、良苗歩合

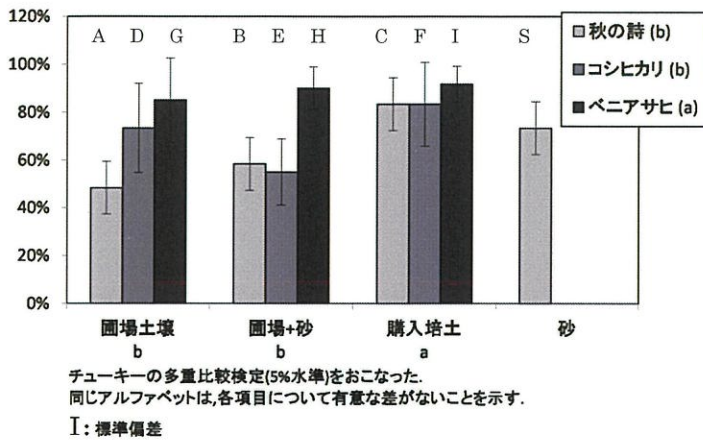


図1 ポット充填土壌の違いと良苗歩合

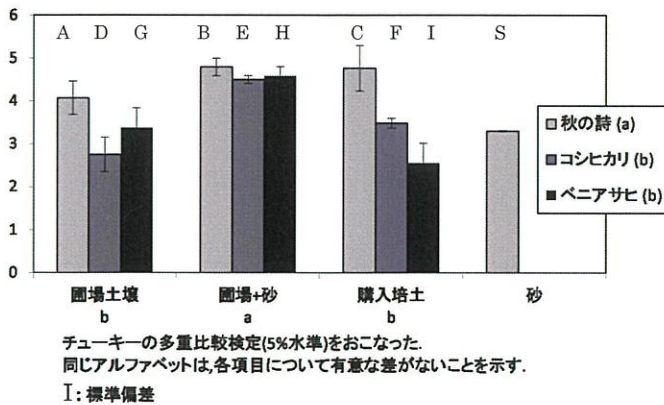


図2 苗の充実度(地上部乾物重mg/草丈cm)

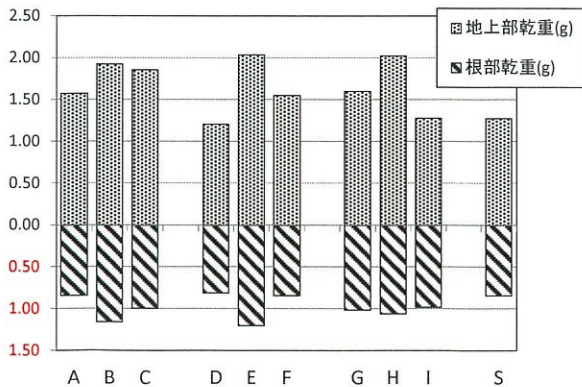


図3 地上部・根部の乾物重(g/30本)

に大きな影響を与えないと考えられる。また品種間では、ペニアサヒが秋の詩・コシヒカリと比較して良苗歩合は有意に高かった。それは、ペニアサヒは他の2品種と比較して、1000粒重が大きいことが影響しているのかもしれない。

苗の長さに対する重さの割合(苗重/苗丈比)であらわされる苗の充実度は、充填土壌間では、圃場+砂区が他の2区よりも有意に高かった。また品種間では、秋の詩が他の2品種よりも有意に高かった。

苗の乾物重は、地上部・根部ともに圃場+砂区が他の2区より有意に重かった。

しかし、苗の根は、育苗箱の下の床にまで根を広げているので、育苗に関しては、ポットに充填した土壌だけでなく苗床の土壌についても考える必要がある。

本田移植後

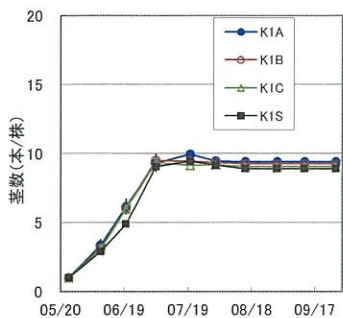


図4 茎数比較(K1)

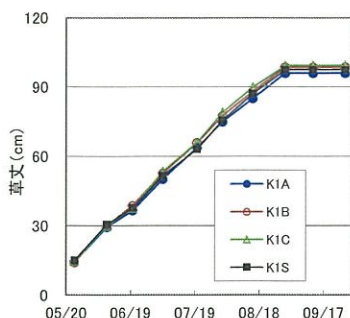


図5 草丈比較(K1)

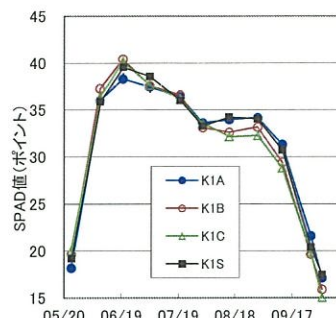


図6 SPAD値比較(K1)

本田での生育期間には、茎数、草丈、SPAD 値に育苗土の違いによる調査区間の差は見られなかった。(図 4,5,6 に K1 水田の結果のみ示した)、苗の充実度は、本田移植後の発根量に影響を与えるが、その差は生育調査の範囲では認められなかった。

昨年は、購入培土で育苗した苗が圃場土壌で育苗した苗よりも収量が有意に多かったが、本年は両区間に差は見られなかった。育苗土の違いによる穂数、収量への影響は認められなかった。それぞれの収量構成要素も、各水田内では育苗土の違いによる差は認められなかった。しかし、品種および水田間では、生育や収量に差が認められ、詳しくは別の報告で述べる。

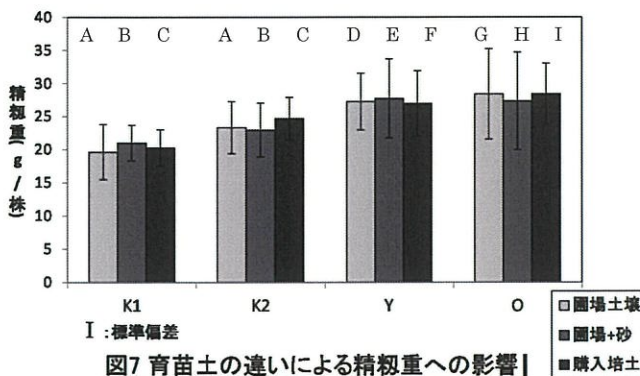


図7 育苗土の違いによる精粒重への影響

第2表 各水田における収量構成要素

調査区	本田	穂数 (本/m ²)	一穂粒数 (粒/穂)	登熟歩合	1000粒重 (g)	推定収量 (kg/10a)
A(秋圃)	亀岡(K1)	158.2 ±1.68	100.5 ±7.60	88.2% ±0.00	23.1 ±0.33	251.8 ±2.66
B(秋半)	亀岡(K1)	155.7 ±2.53	103.3 ±1.41	87.7% ±0.01	23.1 ±0.60	267.2 ±2.84
C(秋培)	亀岡(K1)	154.0 ±7.58	106.0 ±3.77	87.8% ±0.00	23.0 ±0.33	253.8 ±5.74
S(秋砂)	亀岡(K1)	152.4 ±0.84	106.2 ±2.80	83.6% ±0.02	23.0 ±0.05	240.2 ±10.61
A(秋圃)	亀岡(K2)	176.8 ±6.73	106.7 ±1.10	84.4% ±0.04	23.1 ±0.15	295.3 ±5.08
B(秋半)	亀岡(K2)	184.9 ±11.50	111.8 ±1.01	85.4% ±0.02	22.8 ±0.43	286.5 ±15.20
C(秋培)	亀岡(K2)	189.4 ±7.58	108.9 ±5.01	87.4% ±0.03	22.9 ±0.31	306.6 ±9.72
S(秋砂)	亀岡(K2)	197.0 ±5.05	112.9 ±4.45	81.2% ±0.00	22.7 ±0.01	299.2 ±23.78
D(コシ圃)	野洲	221.4 ±9.26	88.7 ±1.85	95.5% ±0.01	20.6 ±0.06	360.2 ±8.46
E(コシ半)	野洲	235.7 ±3.37	87.6 ±0.98	94.9% ±0.00	20.0 ±0.24	372.7 ±4.36
F(コシ培)	野洲	229.0 ±1.68	85.2 ±5.22	94.8% ±0.00	20.7 ±0.16	359.3 ±2.19
G(べニ圃)	小倉	194.4 ±4.21	95.5 ±2.48	95.1% ±0.01	23.8 ±0.15	393.2 ±16.19
H(べニ半)	小倉	178.5 ±3.37	95.2 ±8.66	95.5% ±0.02	23.5 ±0.28	379.0 ±13.39
I(べニ培)	小倉	188.6 ±0.00	99.2 ±0.60	97.0% ±0.00	23.6 ±0.05	394.1 ±16.07

平均土標準偏差

無施肥無農薬栽培水田における土壌とかんがい水が 収量形成に及ぼす影響(第4報)

報告者 伊吹克也・家田善太・栗田光雄(NPO 無肥研)

1. 緒言

2006年に栗東水田の表土を宇治市小倉の圃場に移設し(以下、R水田という)、表土を移設していない隣接圃場(以下、O水田という)とを用いて2011年よりR・O両水田の水口・中央・水尻部にポットを設置して栽培位置の違い(かんがい水の効果)と土壌の違いによる生育及び収量の影響を調べるために比較実験を行っている。

前年までの実験では栽培位置の違いによる影響は認められたものの、土壌の違いによる生育および収量に及ぼす影響には顕著な違いはなかったことから本年は水田内だけではなく、他の無施肥無農薬水田である野洲圃場(滋賀県野洲市、1995年より無施肥)、亀岡圃場(京都府亀岡市、1993年より無施肥)の土壌を比較対象に加えてポット試験による調査を継続して行った。

また、栽培位置による違いは両水田3地点のみでは明らかにならなかった点も多いので、10m×10mメッシュ状に測定箇所両水田12か所ずつ24地点でEC値を測定し、収量調査を行い、水田内の位置的変動について考察した。

本報は4年目の試験結果をまとめたものである。

2. 実験方法

(1) ポット試験

ポット(1/2000a)にR水田、O水田それぞれの水口、中央、水尻の表層土、野洲圃場、亀岡圃場の中央の表層土ならびに川砂を充填し、それぞれR_i区、R_c区、R_o区、O_i区、O_c区、O_o区、Y_c区、K_c区、S_d区とし、R水田、O水田の水口、中央、水尻の合計6箇所に設置した(図1)。なお、小倉圃場の玄米収量は342kg/10aに対し、亀岡圃場は233kg/10a(品種-秋の詩)と低収で、野洲圃場も307kg/10a(品種-コシヒカリ)で小倉圃場より収量がやや少ない圃場である。(収量は直近4年間の平均、野洲圃場は2013年が転作のため、3年間の平均で示した。)

ポットは縁が田面と同じ高さになるように埋設した。川砂には土壌養分の溶出はないものと仮定し、かんがい水のみの影響を比較するために使用した。かんがい水には、元来水田に取り入れられるまでに含んでいた養分と水田内で土壌との間で放出または蓄積した養分とが合わさって運ばれているものと仮定した。各設置場所にR_iからO_o区の水田土壌を充填したポットは2反復、Y_c、K_c、S_d

区は 1 反復ずつ設置した。供試品種はベニアサヒで、ポット育苗箱に播種し、ハウスで養生したのち、各ポットに 1 株 3 本ずつ手植えした。

ポット設置場所付近の地温を 2 時間おきに記録した。

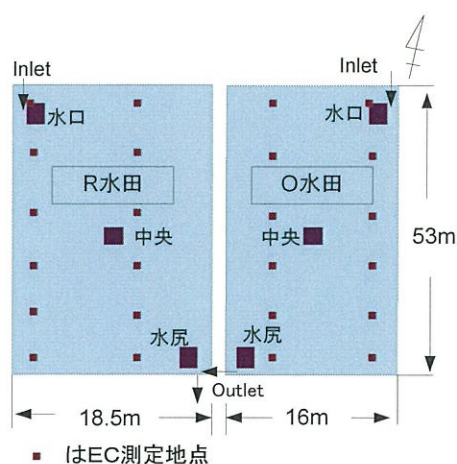


図 1 ポット設置図

茎数，草丈，葉身の SPAD 値（ミノルタ製 SPAD 計を使用），水路および図 1 に示した R・O 両水田の 10m おきに定めた各 12 地点計 24 か所においてかんがい水の EC 値（HORIBA 製 EC メータを使用）を移植 1 週間後から 2 週間おきに測定した。

収穫後には全ての株について穂数，桿長，穂長，籾重，籾数，空籾数，千粒重，水分量を計測した。また圃場内で EC 値を測定した 24 か所で栽培していた平均的な 3 株について株ごとに計測した。

統計処理は処理区間の比較には分散分析および

ビチューキーの多重比較検定を用いた。

3. 実験結果および考察

3-1 栽培経過

供試品種	ベニアサヒ
播種	4 月 12 日
育苗	ポット育苗箱に播種，折衷苗代に置床・湛水
移植	5 月 31 日
水管理	常時かけ流して湛水状態を維持
出穂	9 月 2 日 ごろ
落水	9 月 26 日
収穫	10 月 17 日

無施肥無農薬栽培開始年 2003 年（R 水田表土は 1951 年）

3-2. 栽培土壌および栽培位置が水稻の収量および収量構成要素に及ぼす影響

R・O 水田の栽培位置および栽培土壌を因子として収量および収量構成要素のそれぞれについて二元配置分散分析を行った（表 1）。なお，Yc, Kc, Sd を除いて統計処理をした。

栽培土壌の区間には、収量には有意な差はなかったが、穂数には1%水準で有意な差があった。

栽培位置の区間には、収量、穂数、1穂粒数に1%水準で有意な差があり、1000粒重に5%水準で有意な差があった。それぞれに交互作用はなかった。

表1 栽培土壌および栽培位置に違いよる収量構成要素に及ぼす影響

栽培位置	栽培土壌	玄米重(g/pot)	穂数(本/pot)	1穂粒数(個/本)	1000粒重(g)
R水口部	Ri 区	24.18 ± 2.57	12.0 ± 1.0	94.2 ± 15.5	24.5 ± 0.1
	Rc 区	17.23 ± 6.28	10.5 ± 2.5	74.0 ± 11.2	24.2 ± 0.0
	Ro 区	15.69 ± 0.57	9.5 ± 0.5	77.4 ± 0.7	24.3 ± 0.3
	Oi 区	16.04 ± 0.40	10.0 ± 2.0	79.0 ± 13.4	24.3 ± 0.7
	Oc 区	18.78 ± 0.13	11.5 ± 0.5	73.4 ± 3.2	24.6 ± 0.3
	Oo 区	21.34 ± 6.73	11.0 ± 1.0	93.1 ± 15.4	23.8 ± 0.1
R中央部	Ri 区	11.72 ± 0.67	10.0 ± 0.0	57.0 ± 6.6	23.7 ± 0.3
	Rc 区	11.55 ± 0.52	8.5 ± 0.5	64.8 ± 3.2	24.2 ± 0.4
	Ro 区	8.52 ± 1.19	8.0 ± 0.0	59.2 ± 3.1	23.4 ± 0.4
	Oi 区	10.72 ± 0.74	7.5 ± 0.5	74.6 ± 2.2	24.0 ± 0.4
	Oc 区	10.69 ± 0.47	9.5 ± 0.5	55.1 ± 0.2	23.4 ± 0.6
	Oo 区	13.05 ± 1.18	11.5 ± 0.5	56.2 ± 3.0	23.8 ± 0.6
R水尻部	Ri 区	13.76 ± 2.14	9.0 ± 0.0	66.9 ± 9.8	24.4 ± 0.3
	Rc 区	13.67 ± 3.08	9.5 ± 0.5	76.3 ± 24.3	24.1 ± 0.4
	Ro 区	11.28 ± 0.62	8.0 ± 1.0	63.5 ± 4.3	24.1 ± 0.4
	Oi 区	11.52 ± 0.50	7.5 ± 0.5	73.8 ± 4.1	24.0 ± 0.5
	Oc 区	11.68 ± 1.14	9.0 ± 1.0	66.9 ± 4.9	23.5 ± 0.2
	Oo 区	13.40 ± 1.74	10.0 ± 1.0	64.1 ± 0.4	23.8 ± 0.3
O水口部	Ri 区	18.20 ± 4.31	9.0 ± 1.0	92.1 ± 11.3	24.5 ± 0.0
	Rc 区	14.12 ± 2.49	8.5 ± 0.5	82.8 ± 19.6	24.7 ± 0.3
	Ro 区	16.83 ± 1.03	10.0 ± 1.0	82.3 ± 3.1	24.3 ± 0.8
	Oi 区	13.47 ± 0.64	9.0 ± 0.0	67.3 ± 1.9	24.9 ± 0.0
	Oc 区	20.87 ± 6.00	10.5 ± 1.5	92.9 ± 14.7	24.6 ± 0.1
	Oo 区	15.38 ± 1.89	9.0 ± 0.0	77.8 ± 9.4	25.0 ± 0.3
O中央部	Ri 区	11.55 ± 0.44	9.0 ± 1.0	65.1 ± 6.1	23.8 ± 0.4
	Rc 区	12.28 ± 1.78	8.0 ± 0.0	70.5 ± 7.5	24.4 ± 0.1
	Ro 区	8.34 ± 2.83	8.5 ± 0.5	62.3 ± 4.8	22.9 ± 1.2
	Oi 区	12.38 ± 0.57	8.0 ± 1.0	72.9 ± 6.5	24.3 ± 0.5
	Oc 区	11.13 ± 1.39	9.5 ± 1.5	61.9 ± 11.1	23.8 ± 0.8
	Oo 区	16.73 ± 1.89	9.5 ± 0.5	80.7 ± 5.0	24.7 ± 0.0
O水尻部	Ri 区	13.32 ± 0.32	8.0 ± 0.0	76.8 ± 4.5	24.4 ± 0.8
	Rc 区	13.40 ± 0.12	6.5 ± 0.5	93.6 ± 2.0	24.6 ± 0.5
	Ro 区	13.76 ± 0.37	8.0 ± 0.0	78.6 ± 3.9	24.3 ± 0.4
	Oi 区	15.41 ± 2.66	9.0 ± 1.0	91.3 ± 23.4	23.7 ± 0.6
	Oc 区	13.99 ± 0.19	10.5 ± 0.5	64.3 ± 3.6	23.8 ± 0.0
	Oo 区	15.96 ± 0.66	8.5 ± 1.5	86.9 ± 20.7	24.8 ± 0.1
分散分析	栽培位置	**	**	**	*
	栽培土壌	n.s.	**	n.s.	n.s.

平均値と標準誤差。**は1%水準で有意差があることを示し、*は5%水準で有意差があることを示す。
n.s.は5%水準で有意差がないことを示す。

3-3. 栽培位置の違いが水稻の収量および収量構成要素に及ぼす影響

表 2 小倉水田における収量構成要素へのかんがい水の影響

栽培位置	玄米重(g/pot)	穂数(本/pot)	1穂粒数(個/本)	登熟歩合(-)	1000粒重(g)	全乾物重(g/pot)	収穫指数HI(-)
R水田水口部	18.88 ± 1.49 a	10.8 ± 0.5 a	81.8 ± 4.3 a	0.96 ± 0.00 a	24.3 ± 0.1 ab	52.1 ± 3.6 a	0.360 ± 0.005 a
R水田中央部	11.04 ± 0.49 c	9.2 ± 0.4 ab	61.1 ± 2.3 b	0.94 ± 0.01 a	23.8 ± 0.2 b	35.2 ± 1.2 c	0.313 ± 0.009 c
R水田水尻部	12.55 ± 0.63 bc	8.8 ± 0.3 b	68.6 ± 3.7 ab	0.96 ± 0.00 a	24.0 ± 0.1 ab	37.6 ± 1.6 bc	0.334 ± 0.006 abc
O水田水口部	16.48 ± 1.26 ab	9.3 ± 0.3 ab	82.5 ± 4.4 a	0.96 ± 0.00 a	24.7 ± 0.1 a	46.3 ± 3.1 ab	0.354 ± 0.004 ab
O水田中央部	12.07 ± 0.91 c	8.8 ± 0.3 b	68.9 ± 2.9 ab	0.94 ± 0.01 a	24.0 ± 0.3 ab	36.8 ± 1.7 c	0.325 ± 0.015 bc
O水田水尻部	14.31 ± 0.46 bc	8.4 ± 0.4 b	81.9 ± 5.0 a	0.95 ± 0.01 a	24.2 ± 0.2 ab	41.3 ± 1.1 bc	0.347 ± 0.006 abc

各地点から採取した土壌を充填したポット(1/2000 a)をR, O両水田の水口, 中央, 水尻部に2ポットずつ設置した。

それぞれのポットに水稻(ペニアサヒ)の苗を1株3本植えた。

平均値と標準誤差。数字のあとの同じアルファベットは各項目についてチューキーの多重比較検定(5%水準)で有意な差がないことを示す。

収量は R 水田と O 水田との間に有意な差はなかった。両水田とも収量はそれぞれ水口部が水尻部・中央部より有意に多かった。R 水田・O 水田ともにそれぞれの水口部と中央部との間には全乾物重に有意な差があったが、R 水田では水口部と中央部の収量差は 1 穂粒数の差によると考えられ、O 水田では水口部と中央部との間にそれぞれの収量構成要素には有意な差は認められないもののそれぞれに少しずつの差があり、これらが合わさって収量の差になったものと考えられた。

穂数は、R 水田水口部が多く、それは無効分げつが少なかったことが影響していると考えられた。それに対して R 水田水尻部、O 水田水尻部は無効分げつが多く、O 水田中央部は生育初期から分げつが少なかった。

R 水田中央部は 1 穂粒数が少なく、O 水田水口部は 1000 粒重が重かった(表 2, 図 2, 図 3)。

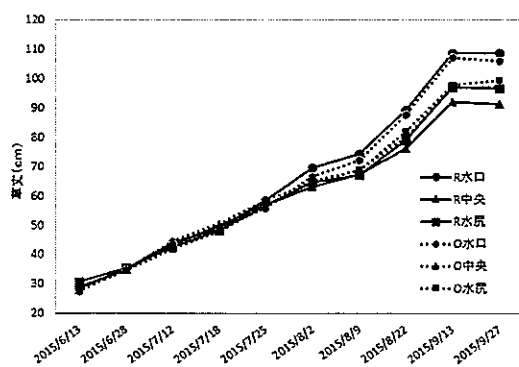


図 2 設置場所別 草丈の推移

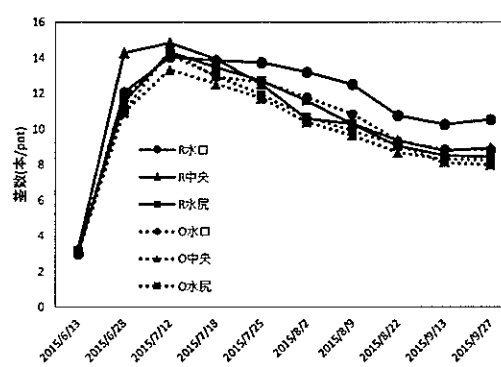


図 3 設置場所別 穂数の推移

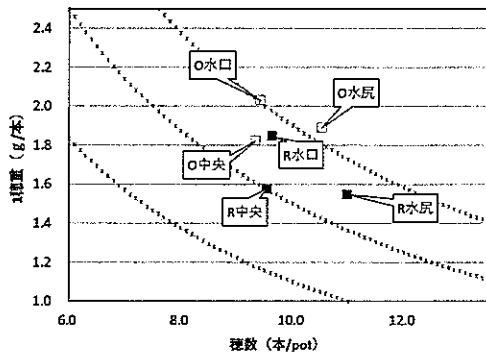


図 4 2012～2015 年平均の設置場所別 1 穂重と穂数

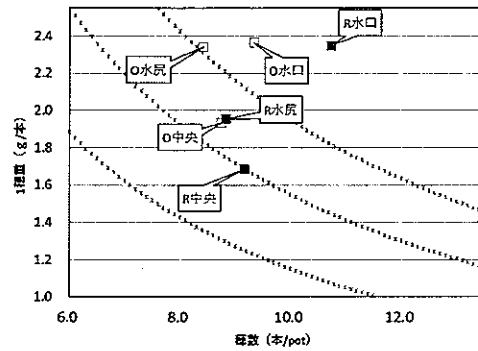


図 5 2015 年設置場所別の 1 穂重と穂数

栽培位置の違いによる影響は年次変化が大きかったものの、過去 4 年間で平均 (図 4) すると収量は両水田ともそれぞれの水田間において中央部が水口部および水尻部よりも有意に少なかった。水尻部は穂数が有意に多く、水口部は 1 穂重が有意に重かった。

3-4. かんがい水の圃場内位置が EC 値に及ぼす影響

EC (電気伝導度) は溶液中の色々な種類のイオン量を電気の通りやすさで示すものであり、水の養分の一つの指標としてみることができる。水田内でかんがい水の養分量は、土壌や稲に吸着・吸収されたり、土壌から放出されたりしたものの合算と考えられる。

栽培期間中の水路における EC 値は 113～130 $\mu\text{S}/\text{cm}$ であった。

R・O 両水田とも生育期間を通じて水口から水尻にかけて EC 値が小さくなる傾向があったが、生育初期特に最高分けつ期には R 水田に比べて O 水田で水田内の EC 値の位置変動が大きかった。R 水田では生育初期には大きな位置変動はみられなかったが、出穂前に O 水田よりも大きな位置変動がみられた。両水田間に EC 値の変動時期に違い

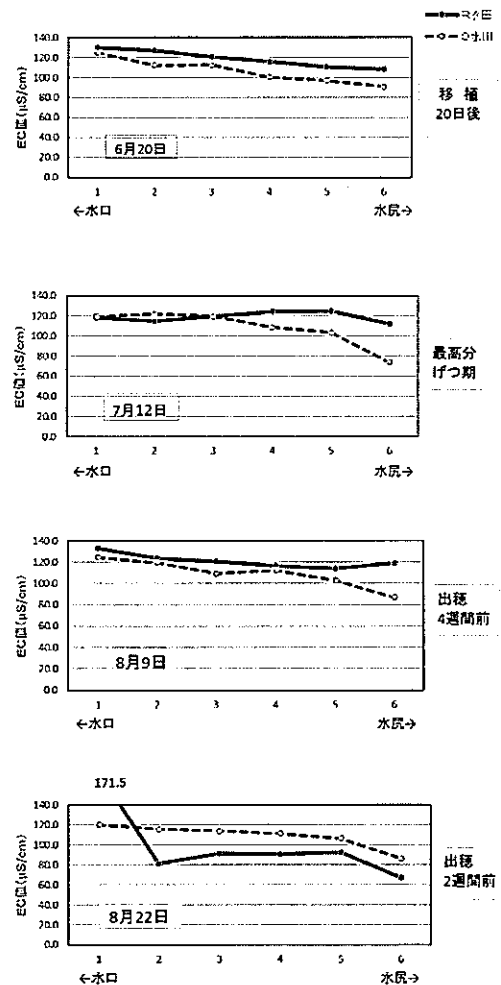


図 6 日別水田内かんがい水の EC 値の推移

があることは興味深かった。なお、8月22日のR水田の一部の測定値には特異に大きな値がみられたが、その理由は判明しなかった(図6)。

3-5. 栽培土壌の違いが水稻の収量および収量構成要素に及ぼす影響

栽培土壌を因子として収量および収量構成要素のそれぞれについて一元配置分散分析およびチューキーの多重比較検定を行った。Sdを除いて統計処理をした。

栽培土壌間には収量に有意な差はなかったが、穂数に有意な差が認められた。圃場間には収量に有意な差が認められなかったことから小倉、野洲、亀岡圃場の本田における収量差は土壌の違いのみに起因するものではないと考えられた(表3)。

表3 小倉水田における収量構成要素への各土壌の影響

栽培土壌	玄米重(g/pot)	穂数(本/pot)	1穂粒数(個/本)	登熟歩合(-)	1000粒重(g)	全乾物重(g/pot)	収穫指数HI(-)
Ri区	15.45 ± 1.51 a	9.5 ± 0.4 a	75.3 ± 5.1 a	0.96 ± 0.01 a	24.2 ± 0.2 a	45.1 ± 3.6 a	0.338 ± 0.006 a
Rc区	13.71 ± 1.09 a	8.6 ± 0.5 a	77.0 ± 5.0 a	0.95 ± 0.00 a	24.4 ± 0.1 a	39.6 ± 2.7 a	0.344 ± 0.005 a
Ro区	12.41 ± 1.08 a	8.7 ± 0.3 a	70.6 ± 2.9 a	0.94 ± 0.01 a	23.9 ± 0.3 a	36.9 ± 2.0 a	0.331 ± 0.017 a
Oi区	13.26 ± 0.69 a	8.5 ± 0.4 a	76.5 ± 4.1 a	0.95 ± 0.01 a	24.2 ± 0.2 a	38.5 ± 1.6 a	0.344 ± 0.007 a
Oc区	14.52 ± 1.42 a	10.1 ± 0.4 a	69.1 ± 4.3 a	0.95 ± 0.01 a	23.9 ± 0.2 a	43.0 ± 3.1 a	0.332 ± 0.009 a
Oo区	15.98 ± 1.24 a	9.9 ± 0.4 a	76.4 ± 5.2 a	0.95 ± 0.01 a	24.3 ± 0.2 a	46.1 ± 2.8 a	0.344 ± 0.006 a
Yc区	16.65 ± 1.54 a	9.5 ± 0.4 a	82.5 ± 4.8 a	0.95 ± 0.01 a	24.4 ± 0.3 a	47.1 ± 3.1 a	0.351 ± 0.013 a
Kc区	14.42 ± 1.09 a	9.8 ± 0.6 a	68.5 ± 3.7 a	0.94 ± 0.02 a	24.8 ± 0.1 a	41.9 ± 2.6 a	0.344 ± 0.013 a
分散分析	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

各地点から採取した土壌を充填したポット(1/2000 a)をR, O両水田の水口, 中央, 水尻部に2ポットずつ設置した(Yc区, Kc区は1ポットずつ)。それぞれのポットに水稻(ペニアサヒ)の苗を1株3本植えた。平均値と標準誤差。*は5%水準で有意差があることを示す。n.s.は5%水準で有意差がないことを示す。数字のあとの同じアルファベットは各項目についてチューキーの多重比較検定(5%水準)で有意差がないことを示す。

2012年から4年間の平均および2015年について穂数と1穂重との関係を土壌別にそれぞれ図7および図8に示した。4年間の平均も2015年の結果もどちらにも収量には有意な差ではないもののR土壌では $Ri > Rc \cdot Ro$, O土壌では $Oi < Oc < Oo$ の傾向があった。

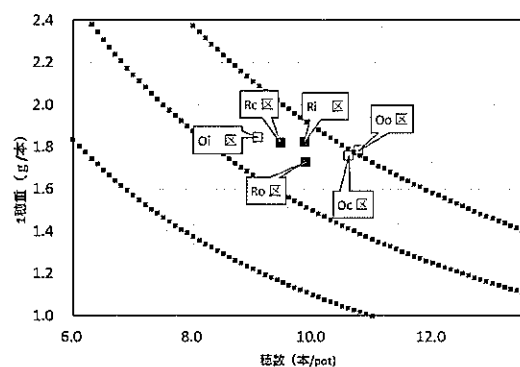


図7 2012~2015年平均の土壌の種類別1穂重と穂数

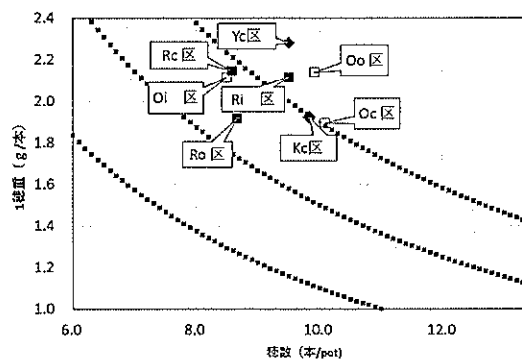


図8 2015年土壌別の1穂重と穂数

4. まとめ

栽培位置の違いによる影響（かんがい水の効果）水管理の違いなどにより年次間にバラつきがみられたものの、4年間を通してみると両水田の収量は有意に水口・水尻>中央であった。水田内のかんがい水の養分変動について指標としてかんがい水のEC値の位置的変動を調べると、R水田とO水田との間に生育時期によって異なった変動がみられた。

土壌の違いによる影響は有意な差ではないものの、R土壌は $R_i > R_c \cdot R_o$ 、O土壌は $O_i < O_c < O_o$ という傾向があった。R水田とO水田の間には、まだ解明できない違いがあり、それを明らかにするため、土壌とかんがい水の養分変動についてさら調査する必要があると思われた。

5. 参考文献

長谷川浩・竹内史郎・奥村俊勝 近畿大学農学部紀要, 12, p.109~115 (1979)

長期無施肥水田の土壤養分動態およびイネの養分吸収

—2015年の調査結果—

多田羅翔子¹⁾・本間香貴²⁾・栗田光雄^{1,3)}・小林正幸³⁾・白岩立彦¹⁾

¹⁾京都大学大学院農学研究科・²⁾東北大学大学院農学研究科・³⁾NPO 無施肥無農薬栽培調査研究会

無施肥無農薬栽培調査研究会（無肥研）が管理する水田は、無施肥でありながら長年 3t ha⁻¹前後の収量を維持している（小林 2015）。無施肥水田においては、土壤から供給される窒素やリン、カリウムなどの養分が生産性の制限要因になっていると考えられる。これまで無肥研管理水田ではイネによって吸収される窒素の大部分が土壤から供給されていること（Okumura 2002）が報告されているが、その他の各種養分供給に関する情報は少なく、また、複数の無施肥水田における養分動態を比較した例はほとんどない。そのため、長期無施肥水田における養分供給と生産性との関係はいまだ不明な点が多い。

イネは根を介して土壤の液相部分である土壤溶液から養分を吸収している。従って、土壤や灌漑水からの養分供給は土壤溶液を介して行われる。そのため、土壤溶液を利用することで、植物体に影響を与えず、簡易的かつ経時的に水田における養分動態を評価することが可能になると考えられる。土壤溶液中の各種養分濃度と土壤養分および植物体の養分吸収とを比較し、それらの関係性を明らかにすることが、無施肥水田の生産性評価の一助になると考えられる。

そこで本研究では、複数の長期無施肥水田において、(i)養分供給能と生産性を調査し、(ii)植物体の養分吸収を土壤溶液中の養分動態に基づいて解析することを目的とした。本報では今年度の調査結果を中心に紹介する。

【材料および方法】

無肥研が管理する野洲圃場、亀岡圃場、小倉圃場（小倉区、栗東区）で調査を行い、京都大学農学部附属京都農場（京大圃場）を比較対照とした。野洲圃場は 1995 年、亀岡圃場は 1993 年、小倉圃場小倉区は 2003 年より無施肥無農薬栽培を継続している。小倉圃場栗東区では、滋賀県栗東市にて 1951 年より無施肥無農薬栽培を行っていた水田の表土を 2006 年に客土し、以後無施肥無農薬栽培を継続している。栽培品種は野洲圃場と亀岡圃場では秋の詩、小倉圃場ではベニアサヒであり、京大圃場では秋の詩とベニアサヒの両品種を供試した。播種は野洲圃場と亀岡圃場では 3 月 29 日、小倉圃場では 4 月 12 日に行われ、移植は野洲圃場では 5 月 17 日、亀岡圃場では 5 月 16 日、小倉圃場では 5 月 31 日に行われた。京大圃場では、無肥研で育苗された苗を供試し、5 月 21 日に移植を行った。栽植密度はすべての圃場で条間 33 cm、株間 18 cm (16.8 株 m⁻²) とした。京大圃場は無施肥区と施肥区を設け、施肥区では緩効性肥料を N・P₂O₅・K₂O = 6.0・4.7・5.6 g m⁻² 施用した。

栽培前の土壤を採取して 30°C 4 週間の湛水培養を行った。培養後の湛水土壤の上澄液を

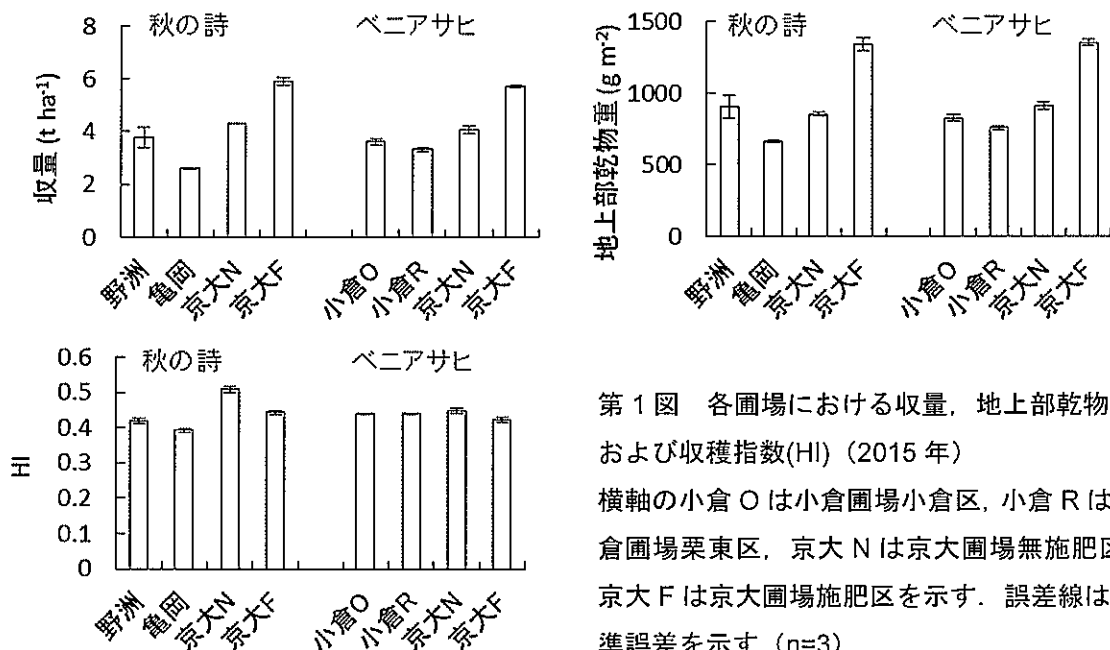
採取し、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 濃度を測定した。培養後の土壤に塩化カリウム溶液を加えてろ過した溶液中の NH_4^+ 濃度を測定し、土壤の可給態窒素量とした。また、1週間ごとに土壤溶液、灌漑水および灌漑排水を採取し、養分濃度(NH_4^+ 、 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 SiO_2)を測定した。土壤溶液は、各圃場5地点、土壤表層から10cmの深さに土壤溶液採取器を設置し、吸引法により採取を行った。さらに、移植3週間後、移植6週間後、移植9週間後、出穂期、成熟期の計5回、各圃場各区内の3地点において植物体地上部を採取し、乾物重および養分濃度(N, P, K, Mg, Ca, SiO_2)を測定した。加えて成熟期に各圃場各区3地点において植物体10株を採取し、収量および地上部乾物重を測定した。

【結果および考察】

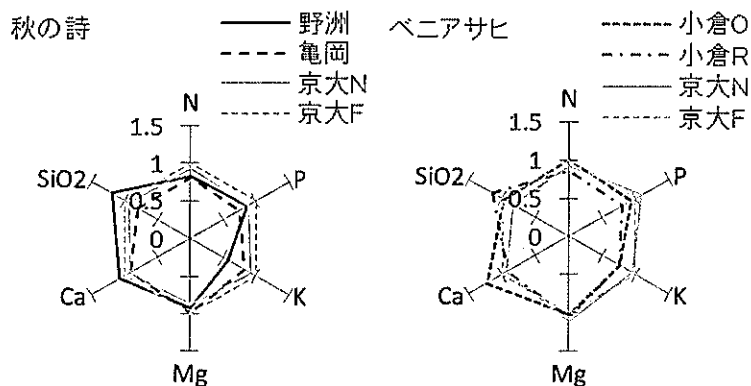
無施肥水田における養分供給能と生産性

本年度の無肥研圃場の収量は $2.6 \sim 3.8 \text{ t ha}^{-1}$ であり、圃場間で差がみられた(第1図)。昨年度と同様に野洲圃場で最も収量が高く、亀岡圃場で最も低かった。対照区である京大圃場の無施肥区と比較した場合、顕著な収量差は認められなかった。また、地上部乾物重は無肥研圃場間で差がみられたが、収穫指数(HI)は同程度であった。このことから、無肥研圃場では乾物生産性の違いが収量の差に寄与していることが考えられた。

植物体中の養分濃度は、京大圃場に比べて無肥研圃場でK濃度が低かったが、N, P, Mg濃度は顕著な圃場間差はみられなかった(第2図)。また、小倉圃場小倉区でCa濃度が高く、野洲圃場で SiO_2 濃度が高い傾向にあった。



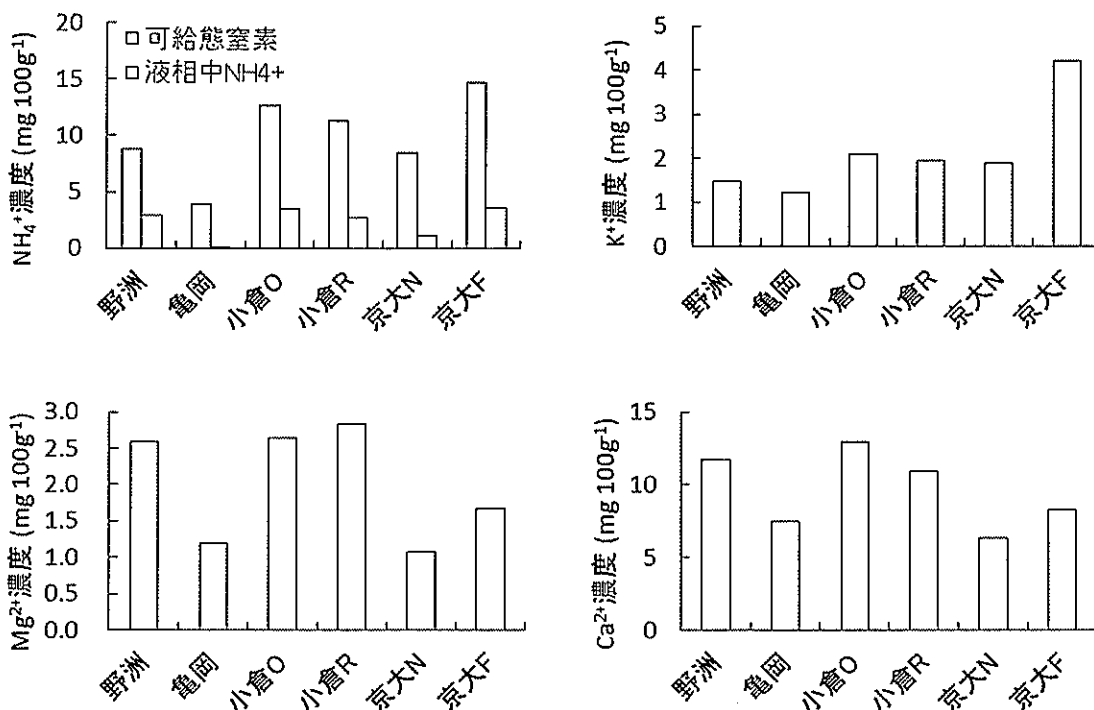
第1図 各圃場における収量、地上部乾物重および収穫指数(HI) (2015年)
横軸の小倉Oは小倉圃場小倉区、小倉Rは小倉圃場栗東区、京大Nは京大圃場無施肥区、京大Fは京大圃場施肥区を示す。誤差線は標準誤差を示す (n=3)。



第2図 各圃場各区における成熟期の植物体中の養分濃度（2015年）

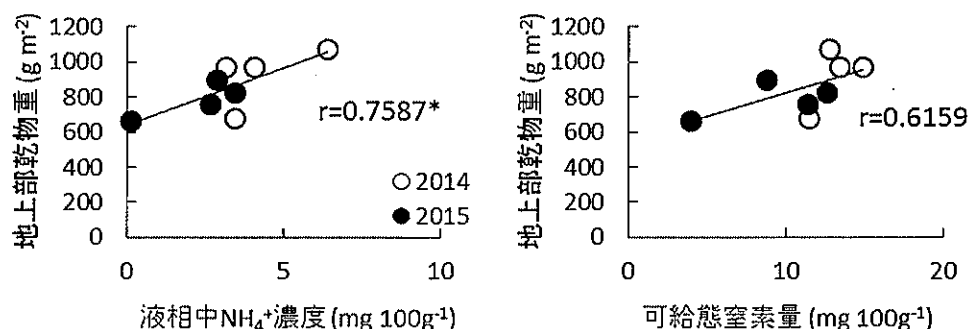
数値は京大圃場の施肥区における養分濃度を1とした場合の相対値を示す。

土壌の湛水培養後における液相中の養分濃度および可給態窒素量を第3図に示す。本年度の調査で最も収量が低かった亀岡圃場では、湛水培養後の土壌の各養分濃度も低い傾向にあった。野洲圃場および小倉圃場では、京大圃場の無施肥区に匹敵あるいは上回っていた。



第3図 土壌の湛水培養（30°C4週間）後における液相中のNH₄⁺、K⁺、Mg²⁺、Ca²⁺濃度および可給態窒素量

無肥研圃場の土壌の培養窒素量と成熟期の植物体の地上部乾物重との関係を第4図に示す。湛水培養後の土壌の液相中の NH_4^+ 濃度と地上部乾物重の間には有意な正の相関があり、土壌の可給態窒素量と地上部乾物重の間にも、有意ではないが正の関係がみられた。このことから、無肥研圃場における乾物生産性の圃場間差は、主に土壌からの窒素供給に起因することが示唆された。



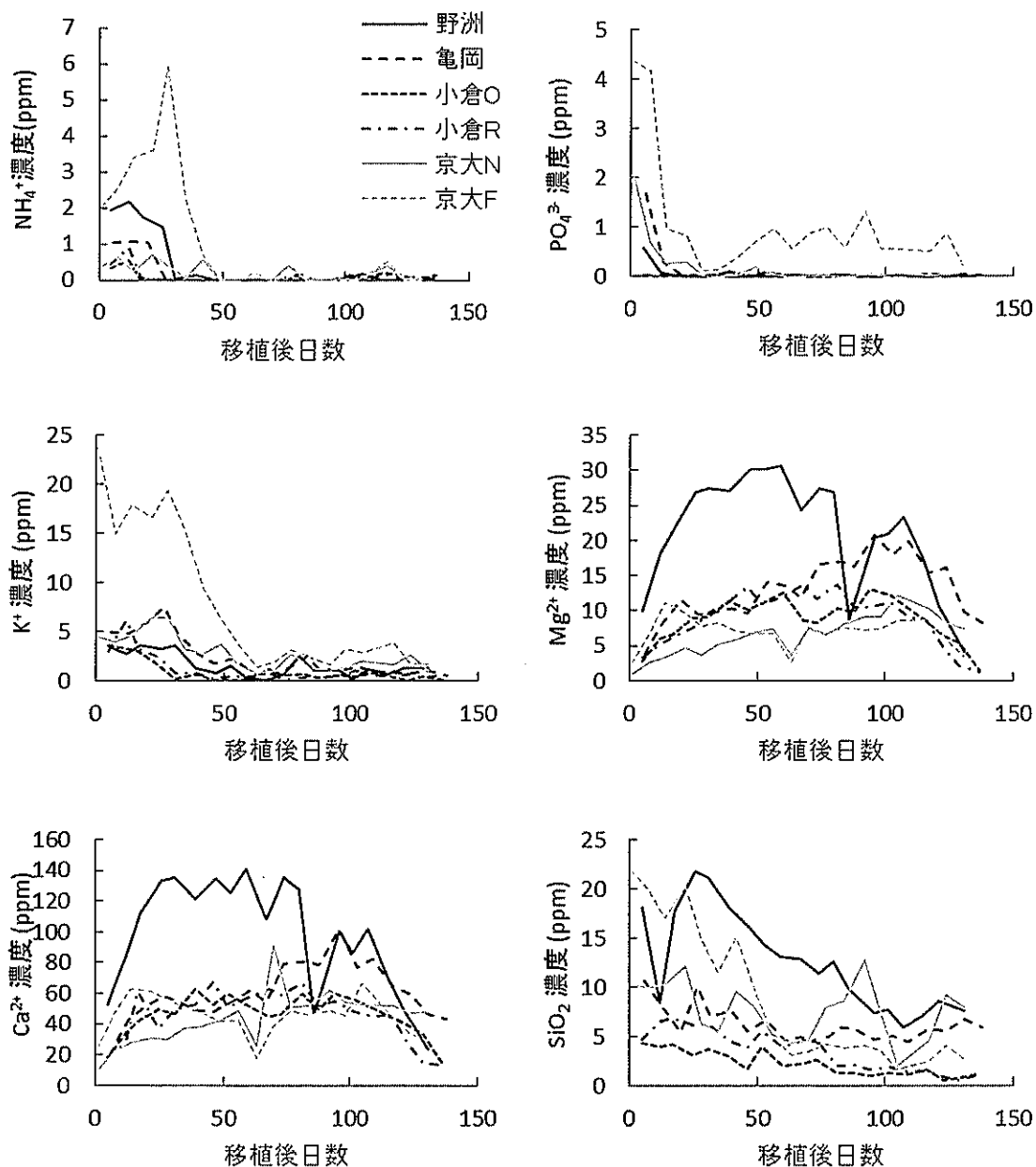
第4図 無肥研圃場における土壌の培養窒素量と地上部乾物重との関係 (2014, 2015年
(*: $P < 0.05$)

土壌に加え、灌漑水による養分供給についても調査した。無肥研圃場では灌漑水をかけ流しにして栽培されているため、灌漑水中の養分濃度と排水中の養分濃度との比較を行った。その結果、 NH_4^+ では両者がほぼ等しかったが、 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 SiO_2 では灌漑水が上回る傾向にあり、灌漑水中のこれらの養分が水田に供給されていることが示唆された。

土壌溶液による無施肥水田の養分動態の把握および植物体の養分吸収との関係性の解析

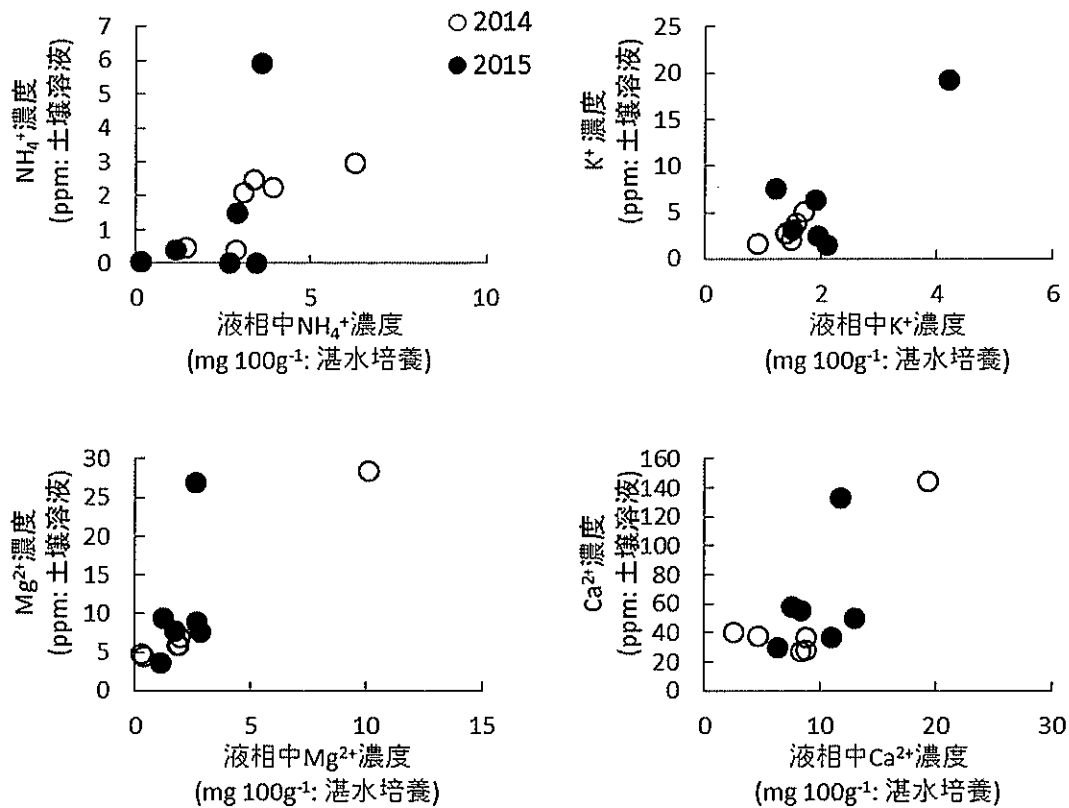
土壌溶液中の NH_4^+ 、 PO_4^{3-} 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 SiO_2 濃度の推移を第5図に示す。 NH_4^+ 濃度は、昨年度は京大圃場に比べて無肥研圃場で高く、すべての圃場で移植後増加し、移植3週間後以降減少する推移を示した。それに対して今年度は、無肥研圃場では昨年度に比べて低い濃度で推移した一方で、京大圃場の施肥区は昨年度に比べて高い濃度で推移した。移植50日後以降は、両年ともに、すべての圃場で非常に低い濃度で推移した。なお、硝酸態窒素は生育期間を通じて検出されなかった。 PO_4^{3-} 濃度はすべての圃場で移植後減少し、無施肥水田では、昨年度と同様に非常に低い濃度で推移した。 K^+ 濃度は両年ともに、すべての圃場で移植後減少した。京大圃場の施肥区では昨年度と比べて高い濃度で推移したが、他の圃場は両年ともに同程度の濃度であった。今年度、京大施肥区で土壌溶液中の NH_4^+ 濃度と K^+ 濃度が高かったのは、施肥の効果が土壌溶液に反映されたためであると考えられる。一方昨年度は、今年度と同様の施肥を行ったにもかかわらず、無施肥区と同程度の濃度であった。施肥が土壌溶液に与える影響についてはさらなる調査が必要であると考えられた。 Mg^{2+} 濃度と Ca^{2+} 濃度は、両年ともに野洲圃場で最も高く、すべての圃場で生育前半にゆる

やかに増加し、生育後半に減少した。SiO₂濃度は野洲圃場と京大圃場で高く、すべての圃場で移植後減少していった。



第5図 土壤溶液中のNH₄⁺, PO₄³⁻, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, SiO₂濃度の推移 (2015年)

続いて土壤溶液中の養分濃度と土壤養分および植物体の養分吸収との関係性を解析した。各圃場の土壤の湛水培養後の養分濃度と土壤溶液中の養分濃度との関係を第6図に示す。湛水培養後の土壤の液相中のNH₄⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺濃度と、移植約4週間後の土壤溶液中の各養分濃度との間には正の関係がみられたが、値が連続的でない部分もあった。土壤と土壤溶液との関係は、灌漑水などの影響を考慮してさらに調査する必要があると考えられた。



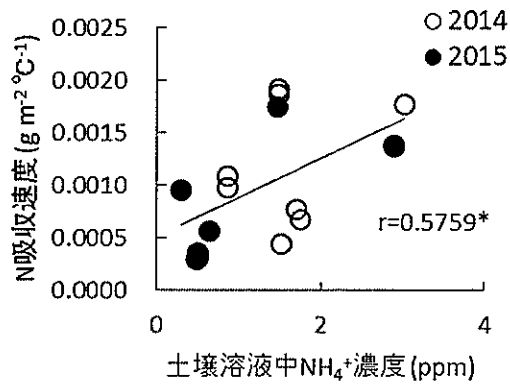
第6図 土壤の湛水培養後における液相中の養分濃度と移植約4週間後の土壤溶液中の養分濃度との関係 (2014, 2015年)

各圃場各区の土壤溶液中の養分濃度と植物体の養分吸収速度との関係を第7図に示す。窒素では、移植から移植3週間後までと移植3週間後から移植6週間後までの期間において、土壤溶液中のNH₄⁺濃度の平均値と植物体のN吸収速度との間に有意な正の相関がみられた。このことから、土壤溶液によって生育前半における植物体の窒素吸収が評価できる可能性が示唆された。窒素以外の養分に関して、特にケイ酸において、移植3週間後から移植6週間後までの土壤溶液中のSiO₂濃度の平均値と植物体のSiO₂吸収速度との間に強い正の相関があった。

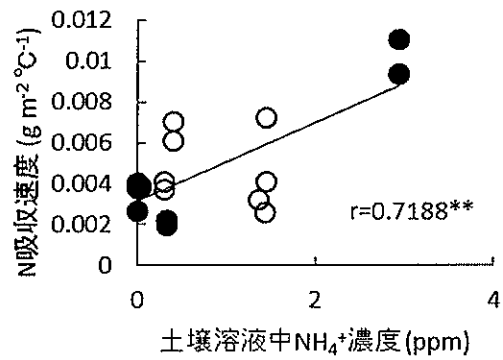
【まとめ】

本年度の無肥研圃場の収量は2.6~3.8 t ha⁻¹であった。無肥研圃場では、土壤の培養窒素量と成熟期の地上部乾物重との間に正の関係がみられ、土壤からの窒素供給が乾物生産性に寄与していることが考えられた。生育前半において、土壤溶液中のNH₄⁺濃度と植物体の窒素吸収速度との間には有意な正の相関があり、土壤溶液によって生育前半における植物体の窒素供給が評価できる可能性が示唆された。今後、土壤溶液中の養分濃度と土壤養分および植物体の養分吸収との関係について解析を進める予定である。

(a) N (移植～移植3週間後)



(b) N (移植3週間後～移植6週間後)



第7図 土壌溶液中NH₄⁺濃度と植物体の窒素吸収速度との関係 (2014, 2015年)

(*: P<0.05, **: P<0.01)

【引用文献】

小林正幸 (2015) 異なる水田における無施肥無農薬栽培水稻の玄米収量の経年変化. NPO 無施肥無農薬栽培調査研究会 2014年度研究報告会資料: 1-6.

Okumura, T. (2002) Rice Production in Unfertilized Paddy Field —Mechanism of grain production as estimated from nitrogen economy—. Plant Prod. Sci. 5: 83-88.

分蘖数の抑制が無施肥栽培水稻の生育に及ぼす影響

(2015年度無施肥無農薬栽培における水稻栽培比較実験)

報告者 家田善太・栗田光雄(NPO 無肥研)

1. 実験意図・経緯

宇治市小倉に2003年より無施肥無農薬栽培を継続している水田と、その一部に、滋賀県栗東市にて1951年より無施肥無農薬栽培を継続していた水田の表土を2006年に移設した区(R水田 10a)と、従来どおり栽培している区(O水田 25a)とを設け、水稻ベニアサヒを両水田で比較栽培している(2008年度報告参照)。

2008年～2014年の試験では収量の確保のために、茎数を増加させることに重点をおいた栽培法について調査していたこともあり、それまで無施肥無農薬栽培の特徴として認められていた「有効茎歩合が大きい」(奥村 1988)傾向が調査区においては、見られなくなってきた。

そこで本年は、分蘖を抑制することが水稻の生育・収量に及ぼす影響について調査した。分蘖を抑制する方法は、いくつか提案されているがその中で、深水栽培と掛流栽培を用いて、標準的な湛水栽培と比較した。

2. 試験方法

標準湛水区と深水湛水区はそれぞれ 2.6m×1.7m を畦畔板で囲い常時一定の水位(標準湛水区：7cm, 深水湛水区：15cm)を保った。湛水処理区および掛流湛水区(畔側)は8条9株を1区とし、3反復した。また、本田中央部にも掛流湛水区を設け、それらは4条9株を1区とし、水口、中央、水尻にそれぞれ2反復した。(図1)。

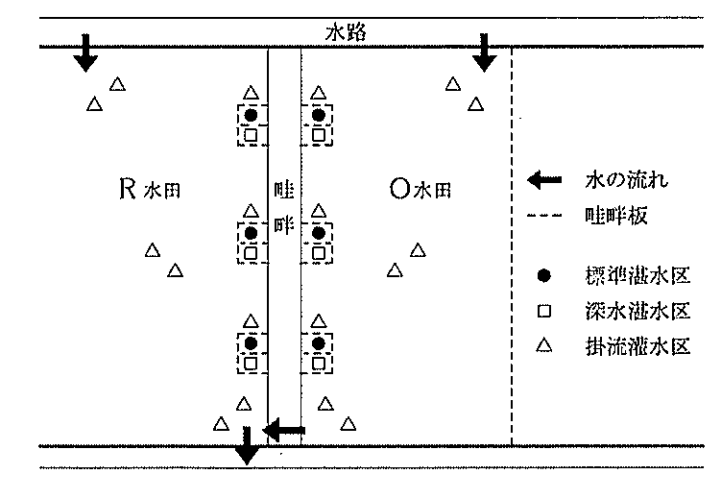


図1. 試験区の位置

供試品種はベニアサヒを用い、育苗は本田で通常用いているポット育苗箱を用い、折衷苗代でおこなった。本田への移植は1株3本を手植えした。播種4月19日、移植5月31日、収穫10月17日であった。

処理区間の比較には分散分析およびチューキーの多重比較検定を用いた。

3. 調査項目

3-1 生育調査項目

各区10株(2条×5株)を定めて移植時に、葉齢および草丈を測定した。移植から出穂2週間後まで1週間毎に茎数を、また移植から収穫まで1週間毎に草丈およびSPAD値(ミノルタSPAD-502を使用)を測定した(出穂～出穂1週間後を除く)。

3-2 収量・形質調査項目

生育調査した10株について、収穫後に穂数、籾重および精籾重を測定した。

また各区の平均的な穂数の3株について籾数、不稔籾数、粗玄米重、玄米重(粒径1.8mm以上の玄米)、玄米粒数および水分率を計測した。各区の残りの7株については、まとめて精籾重、粗玄米重、玄米重(粒径1.8mm以上の玄米)、20g粒数および水分率を測定した。

4. 試験結果と考察

最高分蘗数は標準湛水区、掛流湛水区、深水湛水区の順に少なくなった(表1, 図2, 3)。有効茎数には処理区間に顕著な差が認められなかったが、有効茎歩合は標準湛水区、掛流湛水区、深水湛水区の順で高くなった。これより深水処理が無効分蘗を抑制することができたものと考えられた。

表1. 有効茎歩合の比較

	最高分蘗数 (本/m ²)	有効茎数 (本/m ²)	有効茎歩合
0水田 標準湛水区	276.7 ±06.9	211.0 ±04.6	76.9% ±1.5%
0水田 深水湛水区	252.5 ±12.3	209.3 ±11.1	82.2% ±1.9%
0水田 掛流湛水区	277.8 ±06.4	219.6 ±05.1	79.5% ±0.9%
R水田 標準湛水区	281.7 ±14.6	200.3 ±09.5	72.3% ±1.9%
R水田 深水湛水区	235.7 ±12.2	200.8 ±09.5	86.0% ±1.4%
R水田 掛流湛水区	269.9 ±07.3	216.6 ±06.2	80.5% ±1.0%

平均値±標準誤差

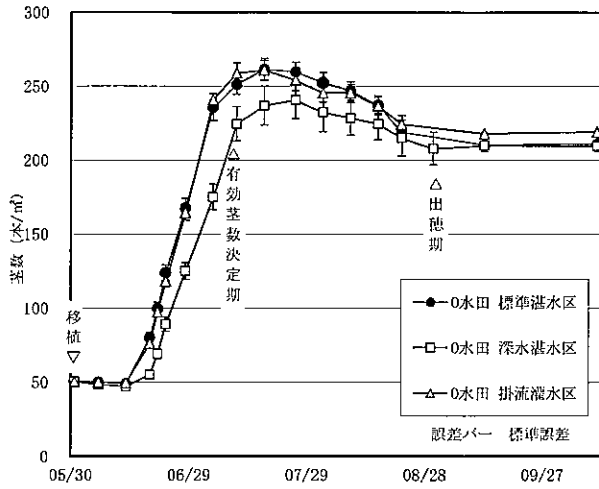


図 2. O水田茎数の推移

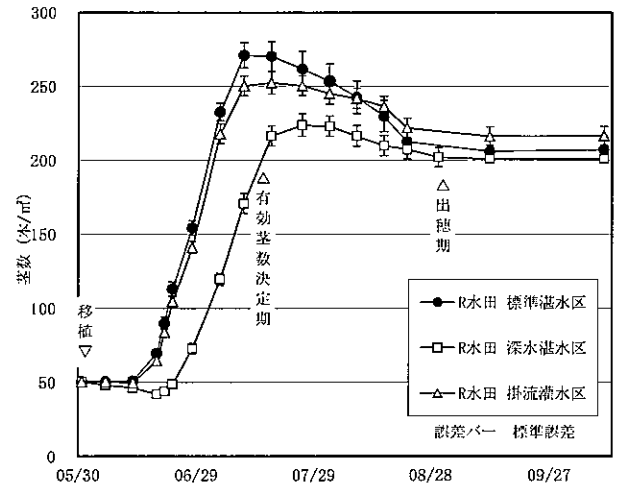


図 3. R水田茎数の推移

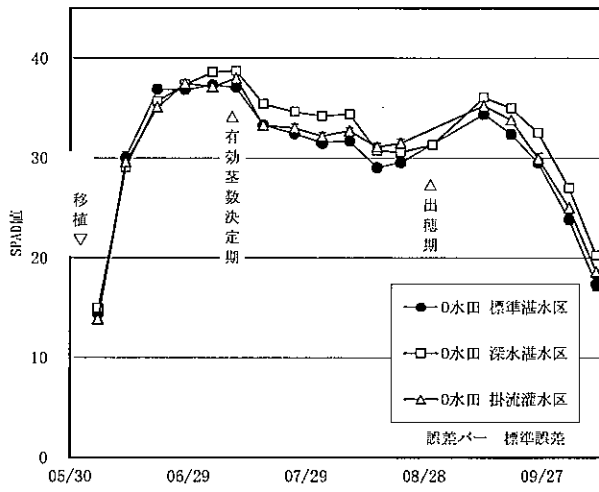


図 4. O水田 SPAD 値の推移

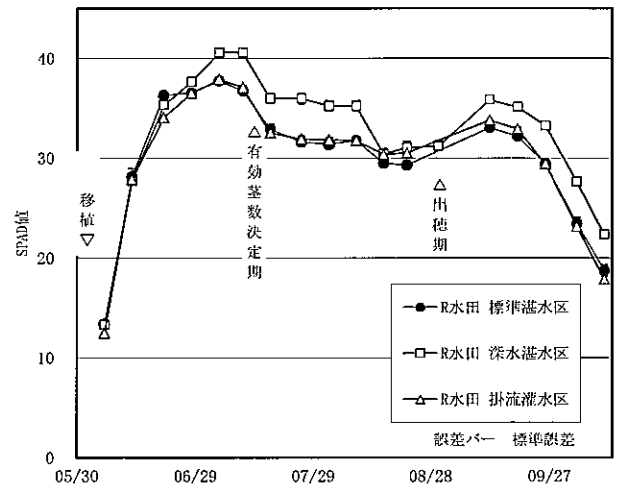


図 5. R水田 SPAD 値の推移

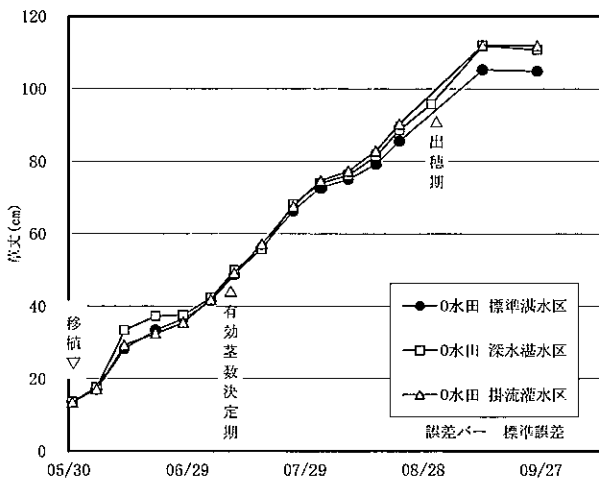


図 6. O水田草丈の推移

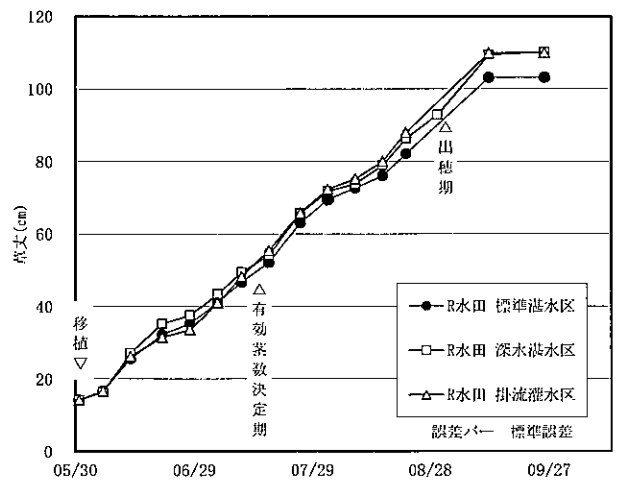


図 7. R水田草丈の推移

一穂粒数は深水湛水区が標準湛水区より有意に多かった(表 2)。登熟歩合や 1000 粒重には処理区間差は認められなかったが収量は深水湛水区が標準湛水区より有意に多かった(表 2)。

表 2. 収量と収量構成要素の比較

調査区	穂数 (本/㎡)	一穂粒数 (粒/穂)	登熟歩合 (%)	1000粒重 (g)	収量 (g/㎡)
O水田 標準湛水区	211.0 ±06.6 a	74.4 ±0.8 b	97.3% ±0.3% a	23.7 ±0.2 a	347.3 ±09.7 ab
O水田 深水湛水区	209.3 ±03.9 a	93.6 ±4.8 a	95.7% ±1.1% a	23.8 ±0.1 a	427.2 ±17.3 a
O水田 掛流湛水区	218.2 ±08.7 a	87.1 ±2.3 a	95.9% ±0.3% a	23.7 ±0.1 a	408.7 ±11.9 a
R水田 標準湛水区	207.7 ±06.5 a	71.0 ±3.1 b	96.6% ±0.3% a	23.6 ±0.2 a	334.0 ±09.8 b
R水田 深水湛水区	200.3 ±03.4 a	93.0 ±4.4 a	97.3% ±0.2% a	23.5 ±0.2 a	421.8 ±19.0 a
R水田 掛流湛水区	212.9 ±21.6 a	82.5 ±5.9 ab	96.5% ±0.2% a	23.6 ±0.1 a	377.2 ±23.2 ab
水田	ns	ns	ns	ns	ns
水管理	ns	**	ns	ns	**
交互作用	ns	ns	ns	ns	ns

平均値±標準誤差

数字のあとの同じアルファベットは、チューキーの多重比較検定 (5%水準) により、有意差なしを示す。

ns, *, ** 分散分析により、それぞれ有意差なし, 5%, 1%水準で有意差ありを示す。

また有効茎数決定期から出穂 2 週間前頃まで SPAD 値が深水湛水区の方が標準湛水区より常に高く推移し(図 4, 5)、草丈は出穂 2 週間前頃から出穂前 1 週間頃まで掛流湛水区と深水湛水区の方が標準湛水区よりも大きく伸長した(図 6, 7)。また、穂長は深水湛水区が標準湛水区よりも有意に長かった(表 3)。これは水稻が吸収した養分を幼穂形成など生育後期に利用していたことを示唆しているのではないかと考えられた。

表 3. 稈長、穂長および節間長の比較

調査区	稈長 (cm)	穂長 (cm)	第 1 節間 (cm)	第 2 節間 (cm)	第 3 節間 (cm)
O水田 標準湛水区	81.2 ±1.0	18.3 ±0.2 b	37.7 ±0.6	20.4 ±0.2	12.2 ±0.1
O水田 深水湛水区	84.7 ±1.5	19.4 ±0.3 a	38.3 ±0.6	22.4 ±0.7	12.7 ±0.5
O水田 掛流湛水区	84.5 ±1.2	19.3 ±0.2 ab	38.9 ±0.5	21.3 ±0.4	12.7 ±0.3
R水田 標準湛水区	78.4 ±0.2	18.1 ±0.1 b	36.5 ±0.4	20.3 ±0.1	12.5 ±0.3
R水田 深水湛水区	84.1 ±0.7	20.1 ±0.3 a	38.1 ±0.5	21.4 ±0.2	13.6 ±0.3
R水田 掛流湛水区	83.0 ±3.0	19.3 ±0.5 ab	38.3 ±0.5	21.0 ±0.4	13.0 ±0.9
水田	ns	ns	ns	ns	ns
水管理	**	**	ns	*	*
交互作用	ns	ns	ns	ns	ns

平均値±標準誤差

数字のあとの同じアルファベットは、チューキーの多重比較検定 (5%水準) により、有意差なしを示す。

ns, *, ** 分散分析により、それぞれ有意差なし, 5%, 1%水準で有意差ありを示す。

5. まとめ

深水処理により最高分蘗数を抑制しても、標準湛水区よりも無効分蘗が少なくなることで、両区間の穂数には差は認められず、収量は深水湛水区が標準湛水区よりも多くなった。最高分蘗数を抑制したことが、養分を生育後期まで有

効に活用して秋優りの生育パターンをとり、一穂粒数が多くなって、収量が増加したのではないかと考えられた。

竹内ら(1979)は栗東水田において無施肥田の「秋優り」の傾向が生じたのは生育末期まで根量が増加し続けたこと、特に生育期間の長い品種でそれが顕著であったことを指摘している。この秋優りの傾向が栗東水田だけでなく小倉水田においても、また、ベニアサヒと早晚性の異なる品種でも無施肥無農薬栽培によって同様に現れるかどうかを調査することは、今後の課題である。

引用文献

- ・奥村俊勝 1988. 水稻の窒素栄養の動態からみた無施肥田と施肥田の比較栽培学的研究. 京都大学
- ・竹内史郎・奥村俊勝・長谷川浩 1979. 近畿大学農学部紀要. 12:135-140

品種と水田の違いが無施肥無農薬栽培における 水稲の生育・収量に及ぼす影響

報告者 丸田信宏・栗田光雄 (NPO 無肥研)

無施肥無農薬栽培調査研究会（以下無肥研）では京都府と滋賀県に数筆ある試験圃場で無施肥栽培試験を継続して実施しており、水稲は京都府宇治市小倉、亀岡市および滋賀県野洲市の3か所に数筆ずつある水田で栽培している。それらの水田では、栽培品種はまちまちであるが、収量に差異が認められる。一般に作物生産には気象環境や土壌特性、水質などの圃場環境、栽培品種、さらに栽培管理などが影響すると考えられているが、これまでの無施肥田で行われた研究では、水稲の収量に、水田の立地条件と栽培品種とが顕著な影響を及ぼすことが示唆されている。奥村ら(1979)は、滋賀県栗東において6品種を比較し、無施肥田では穂重型と晩生の品種が高い収量性を示したことを報告し、特に無施肥栽培にて長期継代してきたベニアサヒの無施肥水田への適応性の高さを認めている。そこで、現在無肥研が無施肥栽培している近畿地方の3か所の水田圃場において、早晚性や草型の異なる品種を比較栽培し、水稲の生育や収量に及ぼす圃場と品種の関係について調査した。

【材料および方法】

実験には早生の「コシヒカリ」、中生の「秋の詩」、晩生の「ベニアサヒ」の3品種を用いた。それぞれの品種の概略を表1に示した。

育苗は、みのる産業株式会社製ポット448育苗箱を用い、前年度に採種した籾を1粒/ポットで播種し、水田折衷苗代で慣行に従って行った。

供試水田は、京都府亀岡市の2水田(K1,K2)、滋賀県野洲市の水田(Y)、京都府宇治市小倉の水田(O)の4筆で、いずれの水田も、付近を水田に囲まれた水田地帯にある。それぞれの水田の概要は表2に示した。42~48日間育苗した苗は、条間33cm、株間18cm（栽植密度16.8株/m²）でそれぞれの供試水田に移植した。除草は代掻き後13日目を1回目とし、その後約

10日おきに計3回行った。試験区分および栽培概要は表3に示した。

表1 供試品種の特性

品種名	稈長	草型	早晚性
コシヒカリ	中	中間	早
秋の詩	中	中間	中
ベニアサヒ	長	穂重	晩

表2 供試水田の概要

水田名	環境	土壌分類	水源	無施肥栽培開始
K1	盆地	灰色低地土	貯水池および井戸	1993
K2	盆地	灰色低地土	貯水池および井戸	2009
Y	沖積平野	灰色低地土	家棟川	1995
O	干拓地	強グライ土	宇治川	2003

土壌分類は、農業環境技術研究所「土壌情報閲覧システム」より

第3表 試験区分および栽培概要

供試水田	調査区	品種	播種日	本田移植日	最高分蘗期	出穂期	収穫
K1水田 (京都府亀岡市)	K1コシ	コシヒカリ	3/29	5/16	7/4	7/18頃	9/6
	K1アキ	秋の詩	3/29	5/16	7/11	8/22頃	10/3
	K1ベニ	ベニアサヒ	4/12	5/24	7/16	9/1頃	10/22
K2水田 (京都府亀岡市)	K2コシ	コシヒカリ	3/29	5/16	7/8	7/25頃	9/6
	K2アキ	秋の詩	3/29	5/16	7/14	8/22頃	10/3
	K2ベニ	ベニアサヒ	4/12	5/24	7/11	8/27頃	10/22
Y水田 (滋賀県野洲市)	Yコシ	コシヒカリ	3/29	5/17	7/4	7/25頃	9/4
	Yアキ	秋の詩	3/29	5/17	7/7	8/12頃	9/24
	Yベニ	ベニアサヒ	4/12	5/24	7/9	8/17頃	10/11
O水田 (京都府宇治市小倉)	Oコシ	コシヒカリ	4/12	5/30	7/22	8/5頃	9/6
	Oアキ	秋の詩	4/12	5/30	7/24	8/26頃	10/10
	Oベニ	ベニアサヒ	4/12	5/30	7/16	9/4頃	10/17

なお 各水田の気温・湿度・地温・水温データは論文の最後に記した。

・調査項目

- ①それぞれの水田に各処理区を2反復設け、本田移植後7日目より、それぞれ連続10株について、茎数と草丈を約2週間おきに測定した。
- ②上記の生育調査した全株について、収穫後に収量諸形質を計測した。統計処理は要因および交互作用の効果を判定するには分散分析、試験区間の差の比較にはチューキーの多重比較を用いた。
- ③無肥研が過去に行ってきた調査のデータと本年のデータより、収量の経年比較をおこなった。

【試験結果および考察】

生育期間の比較

4水田間で茎数の推移を比較すると、3品種全てでY水田の最高分蘗数が他の水田のそれよりも多かった(図1~3)。3品種とも有効茎歩合はY水田で最も低かったが、Y水田の穂数は最も多かった(表4)。その茎数の差は、いずれの品種も移植後3週間くらいまではほとんど見られないが、コシヒカリと秋の詩は移植後3週目から7週目に、ベニアサヒは3週目から5週目に水田間に顕著な差が生じた。

それぞれの水田において、品種間の穂数を比較すると、K1水田でコシヒカリが他の品種よりも有意に少なかった以外は、どの水田でも品種間に有意な差は認められず、草型が中間であるコシヒカリ・秋の詩と穂重型のベニアサヒの間にも有意な差が認められないという結果になった(表5)。

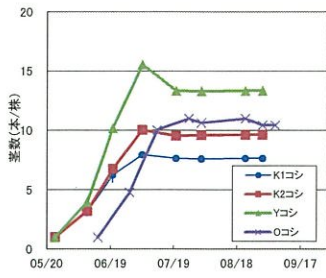


図1 穂数比較(コシヒカリ)

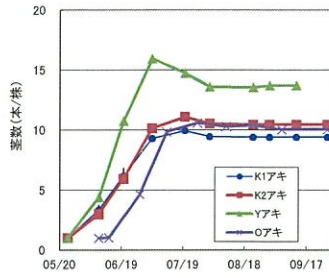


図2 穂数比較(秋の詩)

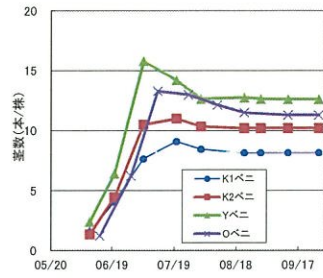


図3 穂数比較(ベニアサヒ)

表4 穂数,最高分蘗数と有効茎歩合

	穂数	最高分蘗	有効茎歩合		穂数	最高分蘗	有効茎歩合		穂数	最高分蘗	有効茎歩合
	本/株	本/株	%		本/株	本/株	%		本/株	本/株	%
K1コシ	7.65	7.95	96.2%	K1アキ	9.40	9.95	94.5%	K1ベニ	8.10	9.10	89.0%
K2コシ	9.70	10.05	96.5%	K2アキ	10.50	11.10	94.6%	K2ベニ	10.15	11.00	92.3%
Yコシ	13.15	15.55	84.6%	Yアキ	13.65	15.95	85.6%	Yベニ	12.30	15.80	77.8%
Oコシ	10.65	11.00	96.8%	Oアキ	10.15	10.60	95.8%	Oベニ	11.55	13.30	86.8%

収量諸形質の比較

4 水田間で収量を比較すると, Y 水田・O 水田 > K2 水田 > K1 水田の順が有意に認められた(第 6 表).

品種間の収量を比較すると, ベニアサヒが他の 2 品種よりも有意に多かった.(O 水田のコシヒカリは, 収穫期の鳥害により減収となったため, 実際の収量は測定できず, 収量比較からは除外した.) またベニアサヒは, 今回の供試したどの水田でも一番収量が多かった. 一方, 秋の詩・コシヒカリは, 水田間で収量に差が認められた.

第5表 水田別収量構成要素

供試水田	調査区	全乾物重 (g/株)	穂数 (本/m ²)	一穂粒数 (粒/穂)	登熟歩合	1000粒重 (g)	推定収量 (kg/10a)
K1水田 (京都府亀岡市)	K1コシ	30.4 ±0.74 c	128.8 ±4.21 b	98.0 ±3.27 b	91.5% ±0.02 a	20.8 ±0.54 c	226.9 ±4.92 c
	K1アキ	46.1 ±1.90 b	158.2 ±1.68 a	100.5 ±7.60 ab	88.2% ±0.00 b	23.1 ±0.33 b	251.8 ±2.66 b
	K1ベニ	56.7 ±1.20 a	136.4 ±3.37 ab	111.9 ±3.58 a	91.8% ±0.00 a	24.4 ±0.26 a	326.8 ±9.90 a
K2水田 (京都府亀岡市)	K2コシ	41.1 ±2.68 c	163.3 ±15.15 a	104.0 ±0.69 b	93.1% ±0.01 a	21.2 ±0.21 c	288.3 ±32.19 a
	K2アキ	58.7 ±0.01 b	176.8 ±6.73 a	106.7 ±1.10 ab	84.4% ±0.04 b	23.1 ±0.15 b	295.3 ±5.08 a
	K2ベニ	70.0 ±1.97 a	170.9 ±5.89 a	117.4 ±1.95 a	86.2% ±0.03 b	23.9 ±0.22 a	361.9 ±39.46 a
Y水田 (滋賀県野洲市)	Yコシ	51.2 ±0.74 b	221.4 ±9.26 a	88.7 ±1.85 a	95.5% ±0.01 a	20.6 ±0.06 c	360.2 ±8.46 a
	Yアキ	57.6 ±0.30 ab	229.8 ±0.84 a	93.5 ±3.86 a	89.6% ±0.03 b	23.3 ±0.10 b	365.3 ±2.16 a
	Yベニ	65.4 ±5.75 a	207.1 ±15.15 a	93.1 ±4.90 a	93.0% ±0.01 ab	23.5 ±0.55 a	402.5 ±34.84 a
O水田 (京都府宇治市小倉)	Oコシ	36.8 ±2.11 b	179.3 ±10.94 a	78.5 ±7.74 b	65.9% ±0.07 b	21.5 ±0.45 b	120.4 ±17.62 b
	Oアキ	54.0 ±2.24 a	170.9 ±5.89 a	104.0 ±7.87 a	91.3% ±0.00 a	24.4 ±0.50 a	333.0 ±15.24 a
	Oベニ	63.5 ±1.82 a	194.4 ±4.21 a	95.5 ±2.48 ab	95.1% ±0.01 a	23.8 ±0.15 a	393.2 ±16.19 a

各水田内において, チューキーの多重比較検定(5%水準)をおこなった.

平均±標準偏差

数字のあとの同じアルファベットは, 各項目について有意な差がないことを示す.

Oコシは収穫期に鳥害を受けた.

ベニアサヒの収量が多かった要因として, 以下のことが考えられる. K1・K2・Y 水田では, 他の品種と比べて穂数に差がないものの, 1 穂粒数と 1000 粒重が大きくなり穂重が重かった(第 5 表). これは, 穂数を決定する生育初期には品種

間に差は見られなかったが、ベニアサヒが籾数や粒重を決定する生育後期まで成長が衰えなかったことで、収量を確保したのではないかと考えられた。一方、O水田ではベニアサヒの穂数が多かったことが収量の多い要因であった。

表6 水田および品種別収量

供試水田	コシヒカリ b		秋の詩 b		ベニアサヒ a	
	(kg/10a)		(kg/10a)		(kg/10a)	
K1 c	226.9	±4.9 d	251.8	±2.7 cd	326.8	±9.9 abcd
K2 b	288.3	±32.2 bcd	295.3	±5.1 abcd	361.9	±39.5 abc
Y a	360.2	±8.5 abc	365.3	±2.2 ab	402.5	±34.8 a
O a	N/A		333.0	±15.2 abc	393.2	±16.2 ab

平均±標準偏差

各水田内において、チューキーの多重比較検定(5%水準)をおこなった。

数字のあとの同じアルファベットは、各項目について有意な差がないことを示す。

O水田のコシヒカリは鳥害の影響を受けたため除外した。

収量の経年比較

K1水田とO水田では、それぞれ過去に複数年にわたってベニアサヒと秋の詩を栽培している。K1水田ではベニアサヒを1999～2005年、2007年に、秋の詩を2006年、2008～2015年に栽培した。O水田ではベニアサヒを2003～2015年に、秋の詩を2008～2015年に栽培した。そこで、両水田と両品種との間で複数年にわたって収量を比較した。その際、水田と品種を因子とした分散分析二元配置で検討したところ、因子間の交互作用が見られたので、以下、水田別に比較した。K1水田ではベニアサヒの平均収量は320.2kg/10a、秋の詩の平均収量は267.4kg/10aであり、両者の間には有意な差が認められた(分散分析一元配置による)。ことから、K1水田には秋の詩よりベニアサヒの方が収量の面からは適していたと言える。一方O水田では、ベニアサヒの平均収量は357kg/10a、秋の詩の平均収量は377kg/10aであり、両品種間に差は認められなかった。

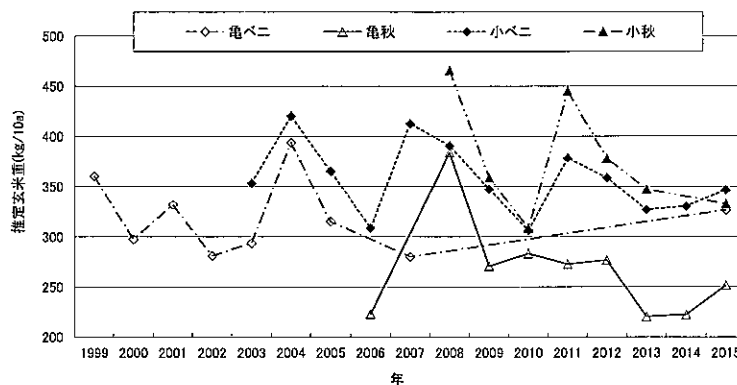


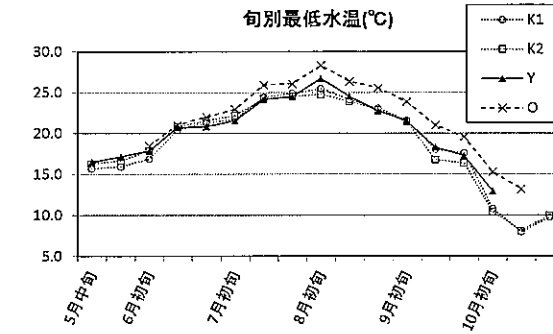
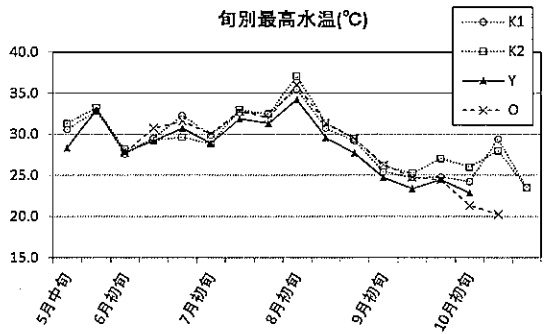
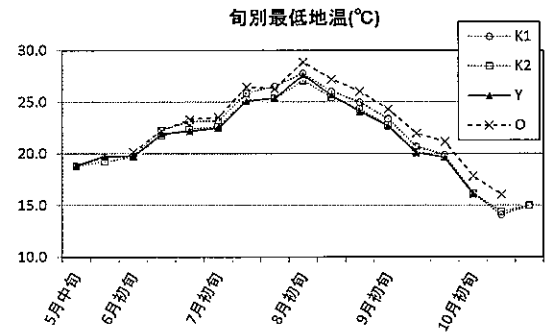
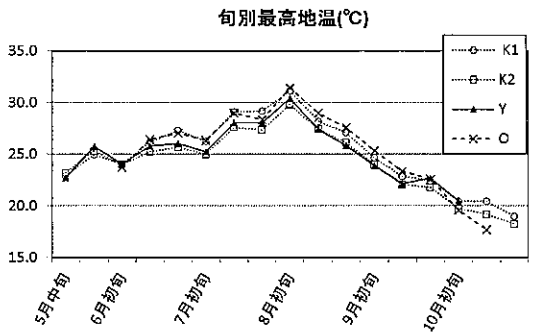
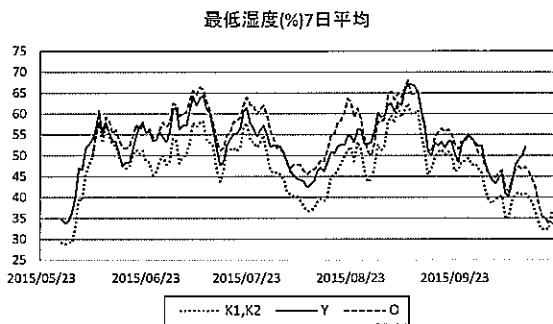
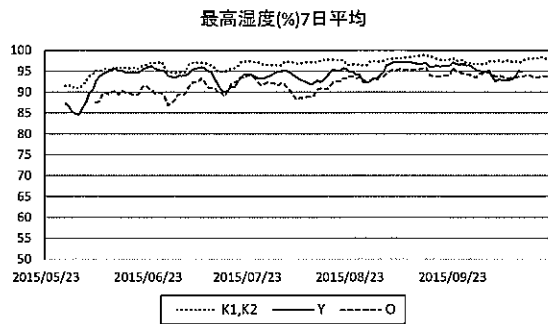
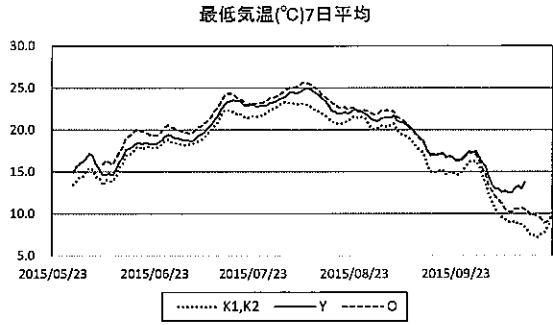
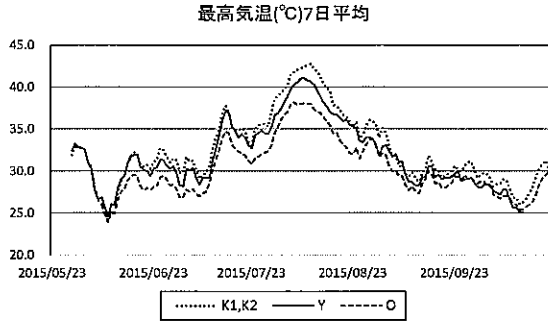
図4 無施肥無農薬栽培水田玄米収量の推移

【今後の研究課題】

今回の実験では、ベニアサヒは4つの供試水田全てで収量が高く、かつ水田の違いによる収量のばらつきが少なかった。これは奥村ら(1979)が、すでにベニアサヒの無施肥田への適応性の高さを認めていたことを別の水田においても確認できたことになる。今後さらに、早晚性や草型の異なる多くの品種を、幅広い水田において調査していく必要がある。

引用文献

長谷川浩・竹内史郎・奥村俊勝 近畿大学農学部紀要,12 1979 pp141-147



イネ品種「ベニアサヒ」の全ゲノム配列解読

総合研究大学院大学

宅野将平

地球上の高等生物は細胞の集合体である。例えば、ヒトは平均37兆個の細胞で構成されている。ある生物のある個体に着目したとき、全ての細胞は同一の遺伝情報を持っている。この遺伝情報はゲノムと呼ばれ、「ある生物をその生物たらしめるのに必要な遺伝情報」と定義されている。つまり、ゲノムとは生物の根幹を成す設計図であると言える。細胞中の核には染色体という構造体が存在する(図1)。この染色体に全遺伝情報が書き込まれている。この染色体は、塩基と呼ばれる化合物の連鎖でできている。塩基はアデニン(A)、チミン(T)、グアニン(G)、シトシン(C)の4種類から成り、塩基が多数接続してできた複合体を塩基配列またはDNA配列と呼ぶ(図1)。つまり、生物の設計図であるゲノムは、たった4文字で書かれている。高等生物は通常ゲノムを2セット持っている。生物が子孫を残すとき、父親と母親からゲノムがそれぞれ1セットずつ子孫に遺伝し、結果として子孫も2セットのゲノムを持つ。

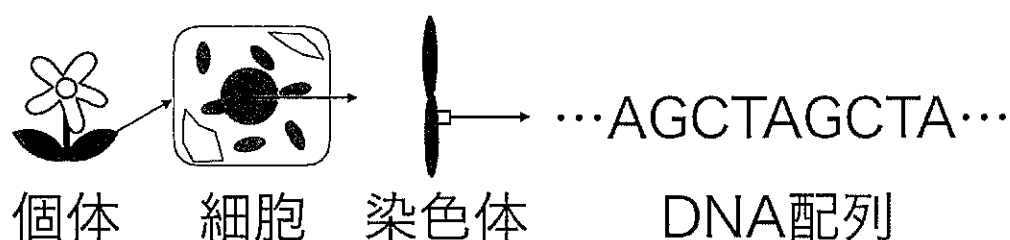


図1：個体、細胞、染色体、DNA配列の模式図。

ゲノム中には、遺伝子と呼ばれる機能単位が複数存在する。生物によって異なるが、数万の遺伝子がゲノム中に存在する。それぞれの遺伝子是对應するタンパク質、つまり酵素の構造を暗号として保持している。遺伝子のDNA配列は、まず中間産物であるRNA配列へとコピーされる。このプロセスを転写と呼ぶ(図2)。このRNA配列は、翻訳というプロセスを経て酵素を生成するために用いられる(図2)。ゲノム中には様々な酵素の構造情報が保持されている。有名なものとして、ヒトのABO血液型を決定する遺伝子や、アルコールを分解

するアルコール分解酵素をコードする遺伝子があげられる。これら数万の酵素を用いて、生物の形や特性が形成される。

遺伝子

DNA ...GCTAGATGGTAGCTTCGCCGCTGCTAGCTAGTCGATGCTAGATCG...

RNA AUGGUAGCUUCGCCGCUAGCUAGUCGAUGCAG

タンパク質

MVASPLLASRC*

図2：セントラルドグマの模式図。DNA配列からRNA配列を経てタンパク質（酵素）が生み出される。RNA配列では、塩基Tが塩基U（ウラシル）で代用される。RNAからタンパク質への翻訳は、一定のルールに従って行われる。タンパク質配列の末尾のアスタリスクは、ここで翻訳が終了するという目印（終止コドン）を示す。

近年、生物の全DNA配列（ゲノム）を解読する試みが成されてきた。ヒトゲノムは2000年に初めて世界に公開された。植物では、実験でよく使われるシロイヌナズナの全ゲノム配列が2000年に、重要な作物であるイネゲノムが2005年に解読された。現在では、非常に多くの生物の全ゲノム配列が解読されている。ゲノムを解読するという事は、生物の設計図を解き明かすことである。この情報は、分子生物学、遺伝学などの基礎研究のみならず、育種学を始めとする様々な農業分野でも用いられている。

本研究では、60年以上無施肥無農薬栽培によって育てられたイネ品種「ベニアサヒ」の全ゲノム配列解読を行った。この研究は、ベニアサヒが無施肥無農薬環境へどのように適応したかを解明する第一歩として期待される。イネゲノム計画では「ニッポンバレ」品種が用いられ、約3億9千万塩基対が解読されている。本研究では、イネゲノムの91.5%に対応する約3億5千万塩基対をベニアサヒで決定した。

同じ種であっても、その種に属する個体はそれぞれ個性を持つ。我々ヒトも同様で、各個人が持つ個性は非常に多様である。この多様性を生み出す要因は大きく2つに分けられる。一つは、各個人が育った環境の差である。もう一つは、個人が持つ遺伝情報の差である。つまり、生育環境と遺伝情報の差がヒトの持つ多様性を生み出す。ここでいう遺伝情報の差とは、ゲノム上のDNA

配列の変化である。ヒトの場合、ランダムに選んだ2つのゲノムを比較すると、平均して1000塩基対に1つの割合で塩基の違いが見られる。

本研究では、Fawcett et al. (2013)によって決定された野生イネ10系統および栽培イネ21系統の全ゲノム配列とベニアサヒの全ゲノム配列との比較を行った。同じ種からサンプルされた複数のゲノムを比較したときに見られるDNA配列の差をDNA多型と呼ぶ。しかし、大部分のDNA配列の変化は個体の個性に影響しない。そこで、ベニアサヒの特性に実際に関わっている変化を抽出する確率を上げるため、1) ベニアサヒのみで変化が見られ、2) 遺伝子上に存在し、3) 酵素の構造を変化させるDNA配列の変化のみを抽出した(図3)。

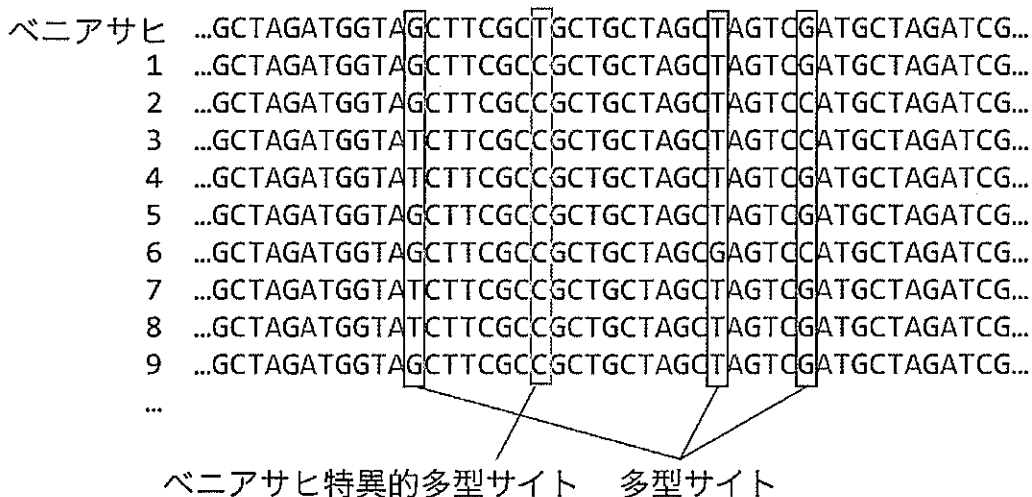


図3: ベニアサヒの特性に関する可能性のあるDNA多型サイトの抽出法。ベニアサヒ以外の1~9は、その他のイネ系統のゲノムを表す。

ベニアサヒの特性に関係する可能性のあるDNA配列の変化を持った46遺伝子が抽出された。そのうち、10遺伝子について先行研究により機能が調べられていた(表1)。これらの遺伝子は、いもち病抵抗性、環境ストレス耐性、栄養の輸送・貯蓄に関連していた。ベニアサヒは、60年以上無肥料無農薬環境で生育されてきた。つまり、貧栄養状態によるストレスと病虫害のストレスに長時間さらされてきた。このため、DNA配列に変化によって、これらのストレスへの耐性や抵抗性を高めた個体が生き残ってきた可能性がある。しかし、前述したようにDNA多型の大部分は、たとえ酵素の構造を変化させても個体の特性に影響しない。今回抽出したDNA配列の変化が本当にベニアサヒの特性に関与しているかどうかは、遺伝学、分子生物学をベースにした実験が必要である。

それでも、今回のベニアサヒゲノム解読は、ベニアサヒが無施肥無農薬環境へどのように適応したかを明らかにする研究の一次スクリーニングとして有用なものであると考える。

表1：ベニアサヒの特性に関係する可能性のある遺伝子一覧

遺伝子 ID	遺伝子名	推定される機能
Os06t0286500	Nbs1-Pi2/9	いもち病抵抗性
Os06t0680500	OsGLR3.5	グルタミン受容遺伝子;冷害、塩害、脱水ストレス時に発現が低下
Os09t0323000	OsUGE4	ウラシルニリン酸エピメラーゼ;冷害、塩害、脱水ストレス耐性に関係
Os04t0669900	OsMTK2	Methylthioribose リン酸化酵素;硫黄欠乏時に働く
Os05t0144800	OsXPD	DNA ヘリカーゼ、DNA 修復関連遺伝子、UV 耐性に関係
Os09t0306700	PFT1	光量欠乏時に植物体を伸長させる
Os01t0175700	OsBOR2/3	ホウ素輸送タンパク質
Os02t0152400	OsRBCS1	光合成関連遺伝子、ルビスコ
Os02t0288400	OsABCC5	種子のフィチン酸含量に関係
Os04t0480300	OsCHB703	DNA 結合因子

参考文献

J. A. Fawcett, T. Kado, E. Sasaki, S. Takuno, K. Yoshida, R. P. Sugino, S. Kosugi, S. Natsume, C. Mitsuoka, A. Uemura, H. Takagi, A. Abe, T. Ishii, R. Terauchi* & H. Innan (2013).

QTL map meets population genomics: An application to rice.

PLoS One 8, e83720.

謝辞

共同研究者である寺井洋平博士、佐々木卓治博士、内山博允博士に感謝申し上げます。本研究は、東京農業大学生物資源ゲノム解析センターの支援を受けて実施された。

耕地生態系における生物間相互作用から無施肥無農薬農業の収量安定性の要因を探る

桂圭佑¹・潮雅之²・小澤理香³・小出陽平⁴・齊藤大樹¹・

塩尻かおり⁵・下野嘉子¹・杉山暁史⁶・東樹宏和⁷・高林純示³

¹京都大学農学研究科,²龍谷大学科学技術共同研究センター,³京都大学生態学研究センター,

⁴京都大学白眉センター,⁵龍谷大学農学部,⁶京都大学生存圏研究所,⁷京都大学人間・環境学研究科

資源多投入型農業による環境負荷の増加や食の安全・安心への関心などから、近年、無施肥無農薬農業に対する需要が増えつつある。無施肥無農薬農業では化学肥料や農薬、有機肥料を一切使わないにも関わらず、その生産性は慣行農業と比較して数割程度の収量減に抑えられ、比較的安定した収量を継続できている例も多く報告されている。何故、一切の肥料等の投入を行わないのに常に一定の収量を挙げられるのであろうか。その要因には灌漑水が含む無機養分の影響などが挙げられているが、それだけでは説明しきれない事例が多い。そこで我々は、耕地生態系に生息する多種多様な生物が作物に及ぼす影響の観点から、その要因を探ろうとしている。その第一段階として、無施肥無農薬農業を継続している水田圃場と、慣行栽培を継続している水田圃場に生息する微生物を含めた生物群集の調査を行った。まだ解析は途上にあるが、これまでの成果と今後の展望を紹介したい。

材料および方法

- 調査場所：京都府宇治市小倉にある無施肥無農薬研究会が所有する長期間無施肥無農薬を実践している水田（無肥研圃場）とそれに隣接する慣行水田（慣行圃場）
- 供試品種：ヒノヒカリ
- 栽培概要：両圃場とも6月上旬に移植、その他の栽培管理はそれぞれの圃場の慣例に従った。
- 調査内容：
 - ✓ 粘着シート（畦と水田内）およびピットホールトラップ（畦のみ）を用いて収集した生物種の同定
 - ✓ 方形枠を用いた雑草種の植生調査（畦および水田内）
 - ✓ 土壌、根、葉のサンプル中の微生物群集の同定
 - ✓ GC/MSによる土壌およびイネからの揮発成分の同定
 - ✓ 収量および収量調査

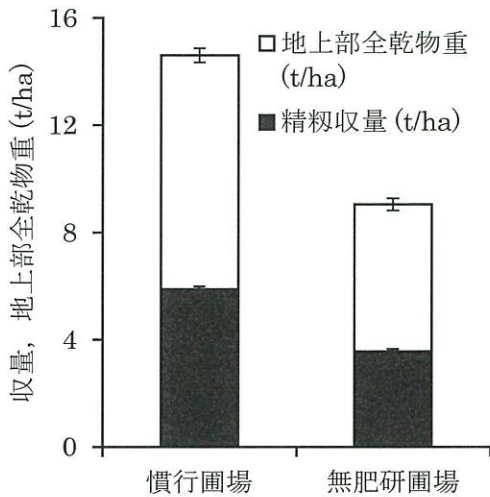
結果および考察

無肥研圃場の収量および地上部乾物重は慣行圃場のそれぞれ60%および62%であった（第1図）。この収量の圃場間差異は主に地上部全乾物重の差異によってもたらされており、収量構成要素から見ると、穂数の差異によってもたらされていた。なお、無肥研圃場ではかけ流し灌漑を行っていたが、地温については移植後から7月中旬頃までは両圃場で差はなかったが、それ以降は無肥研圃場で1~2℃程度高く推移した（第2図）。これは、慣行圃場では生育中期以降にイネの葉群が生い茂り群落が開じたのに対し、無肥研圃場では生育後半まで群落が開じなかったことが関係していると思われる。

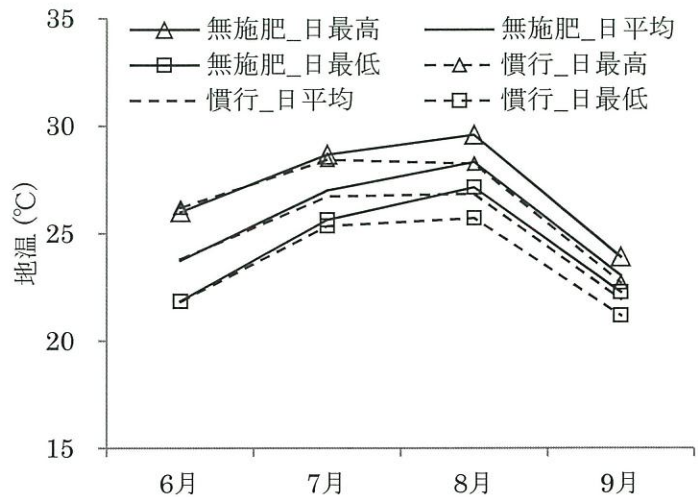
各圃場の生物種については解析を進めている段階であるが、畔に設置した粘着シートで捕獲できた生物種の構成は両圃場で異なる傾向が見られた。無肥研圃場では捕食性昆虫、アリ、その他不明のものが、

慣行圃場では咀嚼型の植食性昆虫が多くみられる傾向にあった(第3図)。畔の植生についても無肥研圃場では一年生の草種が、慣行圃場では多年生の草種が多くみられる傾向にあった。土壌やイネの揮発成分については、サンプル間のばらつきが大きく、圃場間での明瞭の差異は認められなかった。微生物群集については今後分析を進めていく予定である。また、解析は十分に進んでいないものの、両圃場の生態系に生息する生物群集は大きく異なるようである。

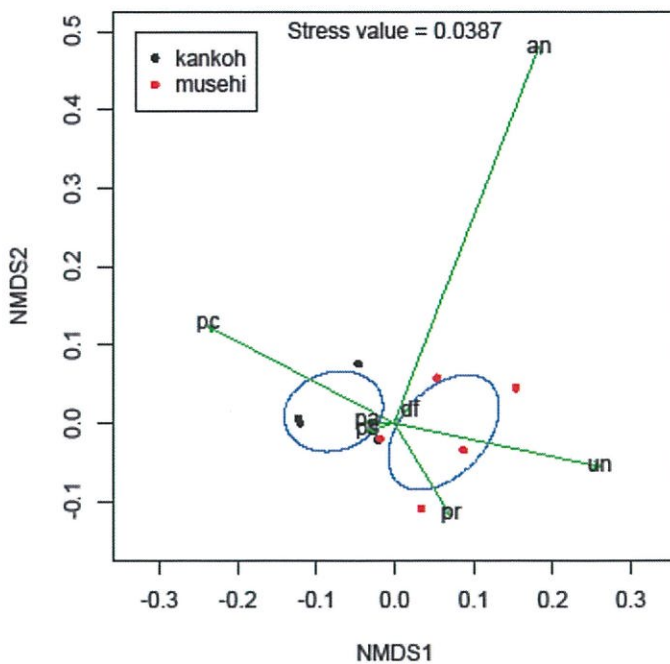
今後は、これらの生物群集の動態を調査し、時系列解析を行うことで、それぞれの個体群動態を予測するモデルを構築することを目指す。あわせて、多様な無施肥無農薬圃場での生物群集を調査することで、無施肥無農薬農業が成功するカギの一つを生物間相互作用の観点から解明していきたいと考えている。



第1図. 慣行圃場と無肥研圃場における収量および成熟期地上部全乾物重



第2図. 慣行圃場と無肥研圃場における地下10cmにおける地温の推移



第3図. 慣行圃場と無肥研圃場の畔に5つずつ設置した粘着シートで捕獲した生物種を食性ギルドで分類し、非計量多次元尺度構成法(NMDS)による多変量解析の結果
黒の点は慣行圃場、赤の点は無肥研圃場のサンプルを示す。互いに近くにある点では似た食性ギルドが捕獲されたことを示す。an はアリ, pr は捕食性昆虫, pc は咀嚼型の植食性昆虫, un は分類できなかったものを示し、それぞれの食性ギルドの近くにある点はその食性ギルドが多く捕獲されたことを示す。

無施肥無農薬栽培の生産実態と生産拡大に関する分析

上西良廣¹⁾・小林正幸²⁾

¹⁾ 京都大学大学院農学研究科・²⁾ NPO 無施肥無農薬栽培調査研究会

1. 問題意識と課題

近年、日本国内において食の安全が注目されている。例えば、農薬と化学肥料を多投していた従来型の農業に対して、なるべく農薬や化学肥料を使用しない農業、つまり環境保全型農業が注目されている。

環境保全型農業は慣行栽培と比較すると、一般的に販売価格が高いという正の側面がある一方で、反収が減少する、労働時間が増加するといった負の側面もある。これは、農薬使用量の低減にともなう抑草対策や除草作業等の発生が影響している。そのため、環境保全型農業に転換することは、生産者としては不確実性とリスクをともなうものであり、容易に受け入れることはできない。

そこで、本研究では無施肥無農薬栽培に焦点をあて、生産の実態を明らかにし、今後のさらなる生産拡大の可能性を検討することを課題とする。無施肥無農薬栽培は農薬と肥料（有機肥料も含む）を全く使用しないため、環境保全型農業のなかでも不確実性やリスクが非常に大きいと考えられる。

2. 無施肥無農薬栽培の概要

NPO 無施肥無農薬栽培調査研究会（以下、無肥研）が定める無施肥無農薬栽培（以下、無施肥栽培）とは、「化学肥料・農薬はもとより、有機質も人為的には施さず、自然界の天然供給物と灌水のみによる栽培を、厳密に、かつ継続的に行う栽培法」¹⁾とされているが、具体的な作業要件が定められているわけではない。

無施肥栽培に取り組むためには、圃場を無肥研に申請し登録する必要がある。圃場の登録料は 1,000 円/10a であり、3ha 以上であればそれ以上登録料を支払う必要はない（上限は 30,000 円）。無施肥栽培による農産物は、無肥研が紹介する販売先に販売することも可能であるし、独自に販売することも可能である。

2015 年度は水田 23 名、畑作（果樹園、茶園も含む）36 名が取り組んでいる。ただし、水田と畑作の両方を行っている人も別々にカウントしている。水田面積の合計は 13ha、畑作面積は 12ha である。現在は積極的に普及活動を行っておらず、無肥研の HP を閲覧した人や、既に取り組んでいる生産者から紹介された人から問い合わせがあるという。

3. 分析方法

分析にはヒアリングによって得られたデータと収集資料を用いる。ヒアリング調査は、滋賀県で水稻の無施肥栽培を行っている生産者 4 名と、次節で述べるシガ産業株式会社の代表取締役である熊木清一氏を

¹⁾ 無肥研のパンフレットを参照した。

対象として実施した。

4. 滋賀県における無施肥無農薬栽培米の概要

(1) 流通業者（シガ産業）

本研究では、滋賀県で無施肥栽培をしている生産者を対象とする。滋賀県で生産された無施肥無農薬栽培米（以下、無施肥米）の流通経路は図1のようになっている。

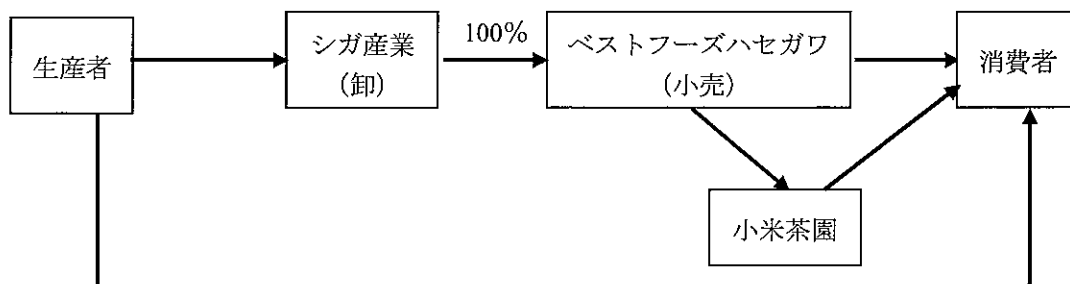


図1 滋賀県における無施肥米の流通経路

出所) 筆者作成

滋賀県の無施肥米に特有な点は、卸売業者のシガ産業株式会社（以下、シガ産業）が流通に関係しているということである。滋賀県以外の生産者は、ベストフーズハセガワまたは消費者に直接販売している。無施肥米は、生産者が直売するか、小売業者ではベストフーズハセガワまたは小米茶園しか販売が許可されていない。

シガ産業は酒米を中心に扱っており、2015年度の取扱数量はうるち米も合わせると35,000俵である。無施肥米の取扱数量は約100俵であったため、全体に占める割合は約0.3%である。シガ産業が集荷した無施肥米は、全量ベストフーズハセガワに販売している。生産者からの買い取り価格は、無施肥米を扱いはじめた1998年から約30,000円/俵を維持してきた。しかし、ベストフーズハセガワで無施肥米の売れ行きが頭打ちになりつつある状況を受け、ベストフーズハセガワは消費者への販売価格を2016年産米から下げる予定である。その影響を受けて、シガ産業の生産者からの買い取り価格も下げる予定である。

無肥研とのつながりが生まれたのは1998年のことであった。無施肥栽培による酒米で吟醸酒を作りたいという依頼が酒造会社から無肥研にあった。まず無肥研の理事である小林正幸氏の知り合いである滋賀県の酒米生産者が興味を示してくれた。その生産者は当時シガ産業に酒米を販売していたため、シガ産業の熊木氏に無施肥米の生産について相談した。その結果、熊木氏は別の酒米生産者を無肥研に紹介し、この生産者が初めて無施肥栽培を開始した。このとき、シガ産業が集荷するという体制ができた。

2015年に滋賀県で無施肥栽培をしている生産者は5名おり、5名ともシガ産業が無肥研に紹介し、無施肥栽培を開始した。このように、シガ産業は米の集荷・販売に加え、無施肥栽培の普及という役割も担っており、無施肥栽培を普及するにあたり非常に重要な存在である。

(2) 生産者

本研究で調査した滋賀県の無施肥米生産者の概要は表 1 の通りである。各生産者の無施肥栽培の情報の入手先は、無肥研や生産者仲間、農協など様々である。

表 1 生産者の概要

生産者	K	I	S	N
経営面積(ha)	8.2	7.8	10.5	42
うち水稲面積(ha)	5	6.5	8.1	37
うち無施肥面積(ha)	0.83	0.3	1.4	0.89
無施肥開始年	2003	2009	1998	2007
開始時の面積(ha)	0.2	0.3	0.6	0.3
無施肥米の販売先	シガ産業	シガ産業	シガ産業	インターネット、飲食業者
経営品目	水稲、大豆、小麦	水稲、大豆、ネギ	水稲、WCS	水稲、大豆、小麦
紹介者	無農薬有機栽培の生産者仲間	農協	無肥研 (小林氏)	有機栽培の生産者仲間
取り組むにあたり不安・抵抗等があったか。	果たして米が取れるのかという不安があった。	除草作業が不安であった。	有機栽培をしていたため、抵抗はなかった。とりあえずやってみた。	収穫できるか不安だったが、先輩がやっていたので取り組んでみた

出所) 筆者作成

1) 2015 年度のデータである。

生産者 S 氏は、すでに有機栽培で経験を積んでいたため、新たに無施肥栽培に取り組む際に抵抗はなかったと話していた。一方で、生産者 K、N、I 氏は栽培上の不安を抱えた状態であったが新たに組み組んでみたという。

5. 結果と考察

(1) 結果

①生産実態

表 2 は、ヒアリング調査を実施した生産者の販売価格、反収など収入に関するデータを表している。無施肥米の平均反収は約 5 俵²であり、シガ産業は約 30,000 円 (/俵) で生産者から買い取っている。そのため、生産者の 10a あたり平均収入は約 15 万円となる。一方で、表 2 から慣行米による収入は約 7~10 万円であるため、無施肥米と比較すると大きな開きがあることがわかる。

3 名の生産者 (K、I、S 氏) は、無施肥米の全量をシガ産業に出荷しており、約 30,000 円/俵で買い取ってもらっている。この価格は、シガ産業が無施肥米を取り扱い始めた 1998 年から変化しておらず、現在で

² 生産者によって反収が大きく異なることに注意が必要である。実際には最小で約 200kg/10a、最大で約 400kg/10a であるという。

表2 生産者の収入に関するデータ

生産者	K		I		S		N	
	無施肥	慣行	無施肥	慣行	無施肥	慣行(酒米)	無施肥	慣行(特裁米)
栽培方法								
販売価格 (円/俵)(A)	31,000	9,000	30,000	12,000	30,000	12,000(酒米)	24,000~30,000	11,000
反収(10a)(B)	5.3俵	8俵	6.2俵	8.5俵	4俵	6~8俵(酒米)	5.5俵	8.5俵(特裁米)
収入(A×B)	164,300	72,000	186,000	102,000	120,000	72,000~96,000	132,000~165,000	93,500
差額		92,300		84,000		24,000~48,000		38,500~71,500

出所) 筆者作成

1) 2015年度のデータである。

は慣行米と比較して約3倍の値段で取引されている。

無施肥栽培は、農薬、肥料を全く使用しないためこれらの費用はかからないが、除草作業等により労働時間が長くなるという特徴がある。ヒアリングした生産者の1人は、無施肥米の10aあたり生産費は20,400円(苗代費、燃料費、水利費)であるのに対し、慣行栽培は34,500円であると話していた。また、その生産者の10aあたり労働時間は無施肥栽培が20時間、慣行栽培が12時間であるという。そのため、労賃を考慮した場合でも無施肥栽培の方が生産費を低く抑えることができる可能性がある。しかし、抑草に失敗すると膨大な除草費用がかかる可能性がある。

表3は、無施肥栽培に特有な作業内容と10aあたりの労働時間を表したものである。慣行栽培と無施肥栽培を比較すると、田植前では耕うん・代掻き、田植後では除草作業により労働時間が長くなることがわかる。

表3 無施肥栽培に特有な作業内容と作業時間(10a)

K		I		S		N	
内容	時間	内容	時間	内容	時間	内容	時間
除草作業3回		代掻き追加1回	2	耕うん・代掻き追加2回	2.3	代掻き最低4回	
田植後の深水管理		除草作業6回 ・アメンボ号3回 ・乗用型田植機3回	6	除草作業3回		除草作業4回 ・チェーン除草2回 ・田打車2回 手取り除草	2.4

出所) 筆者作成

1) 2015年度のデータである。

②今後の意向

表4は、今後の経営の意向についてまとめたものである。K氏はすでに高齢(調査時81才)であるため、経営規模を縮小し、作業が大変である無施肥栽培の規模も縮小する予定である。I氏は無施肥栽培に適した農地が他にはないため、規模拡大は物理的に不可能であり今後も規模を維持する予定である。無施肥栽培の場合、複数回にわたり除草機を圃場に入れるが、現在取り組んでいる圃場以外では除草機が沈んで作業ができない。S氏は無施肥栽培の規模拡大意向を持っているが、無施肥米の販売が頭打ちになりつつある状況を受け、仮に規模拡大しても全量集荷してもらえないのではないかと懸念している。N氏は独自

表4 今後の経営の意向

	K	I	S	N
後継者の有無	有	不明	有	有
今後の経営規模	縮小	維持	拡大	拡大
無施肥栽培の今後の規模	縮小	維持	拡大	拡大

出所) 筆者作成

1) 2015年度のデータである。

の販売先を確保しているため、今後も無施肥米の規模を拡大する予定である。

(2) 考察

無施肥米は、慣行米と比較して収量は減少するが、高い買取価格が設定されているため、10aあたりの収入は大きくなる特徴がある。生産費に関しては、農薬費、肥料費が全くかからないが、労働時間が長くなる。抑草、除草技術を現在確立している段階であるため、雑草による被害が予測できず、年によっては甚大な被害を被るという不確実性がともなう。

ヒアリングした生産者のなかには、手取り除草を目的として1名をパート雇用したが、2015年度は特に雑草被害がひどかったため、支払総額が約30万円であったという。このように、除草と関係する費用が非常に大きくなるという不確実性が存在するため、抑草、除草技術の確立が求められる。現在では生産者間の情報共有やコミュニケーションがあまり活発に行われていないため、研修会やニュースレターなど情報を共有する場が必要ではないかと考えられる。

また、規模拡大意向を持っているが販売面を懸念して、規模拡大を躊躇している生産者がいたことから、販売面の強化が必要である。現在はインターネット販売に限定されているが、こだわり農産物を扱っている店で新規に扱ってもらうことや積極的な情報発信により販売面が強化されると、生産拡大が促進されると考えられる。

話題提供

東北地方における水稻の無施肥無農薬栽培の現状と課題

細谷 啓太 (岩手大学大学院連合農学研究科)

現在、東北地方を中心とする農家の無施肥無農薬水田の収量性について調査を行っている。無施肥無農薬栽培において主要な問題となるのが収量性であるが、特に東北地方では生産者が管理する水田面積が大きく（最大で35ha以上）、収量性は農業経営に直接的に影響する。調査を行っている農家水田においても、水田によって収量は120～510kg/10aの範囲でばらつき、また年次間差が大きいケースも見られる。しかし一方では、420～480kg/10a程度の収量が安定して長期的に得られ、水稻専業で農業経営に成功している事例も複数あるなど、必ずしも低収量・不安定が無施肥栽培の収量性の特徴とは言えない。無施肥無農薬栽培でも**安定した収量を得る鍵となる要因**が存在すると考え、一般的にイネの生長において重要な元素の一つである窒素に着目して研究を進めている。

1. 東北地方の無施肥無農薬水田の収量性の現状

2014年に北日本地域における16の無施肥無農薬水田を調査した。図1に示したように玄米収量は120～686g/m²の範囲で変動しており、水田間で収量差が大きいことが分かる。本調査は各水田における生育が中庸な個体6株のみの調査のため、坪刈調査などの一般的な収量解析に比べ精度は低い、生産者への収量の聞き取り調査によって実際の収量と摺り合わせを行っており、収量データは実際の水田間の収量差を反映している。収量を構成する要素の内では、穂数の差が最も収量差に寄与（R²=0.85）しており、イネの生育初期の段階で既に各水田の収量性の差がおおむね反映されていた。

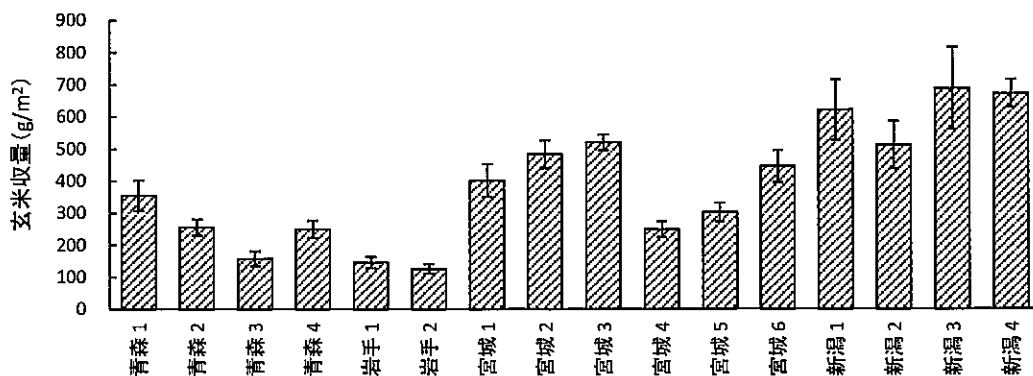


図1 北日本地域の無施肥水田間の玄米収量の差異

図中のバーは標準誤差を示す。

2. 収量差を引き起こす要因について

水田間で収量性が大きく異なる要因について、まず土壌が有している養分量と関係している可能性が高いと考え、湛水前の土壌の化学性（pH、全炭素、全窒素、無機態窒素、可給態リン量）を調べたが、収量性との明確な関連性は見られなかった。一方、収量性は地理的要因や気象要因との間に有意な相関関係が認められ、移植後の気温が高い低緯度地域（新潟や宮城）で収量が高い傾向が認められた。したがって無施肥栽培の収量性には気温が関係している可能性が高いと考えられた。

無施肥無農薬栽培では外部からの人為的な窒素の投入がない。したがってイネが吸収する窒素は、土壌から供給される窒素に大きく依存するはずである。加えて土壌の窒素無機化は地温に影響されるため、2015年に気温－窒素無機化－分けつ発生の関係についてポット試験を用いて解析した。その結果、気温がイネの分けつ発生に及ぼす影響には、気温による直接効果(57%)と、気温による土壌中窒素の無機化を介した間接効果(43%)の2つの効果があることが分かった（図2）。つまり、低収量だった無施肥水田において穂数生産が抑制されたのは、移植後の気温が低かったことで土壌窒素の無機化量が少なく、イネが十分な窒素を吸収できず分けつ発生が抑制されたためと考えられた。あくまでもこの結果は無施肥水田の収量性に寄与している一般的な要因であるが、慣行栽培でも寒冷地では施肥量が多い傾向にあり、温暖な地域では地力依存型、寒冷な地域では施肥依存型に農業形態がシフトしている可能性がある。無施肥栽培は必然的に地力依存型になるため、地力を引き出す気温の重要性は一般栽培に比べて高く、移植日や土壌の乾燥化（地力窒素の発現が高まる）は相対的により重要になるであろう。実際、生産現場レベルでも6月上旬まで移植を遅らせる晩植が経験的に行われている場合もあり、この場合寒冷地でも穂数の増加に伴う収量増が報告されている。しかし過度な晩植は水利用の問題や出穂までの日照不足を招く場合もあるため、各地域において適切な移植時期を見極める必要がある。

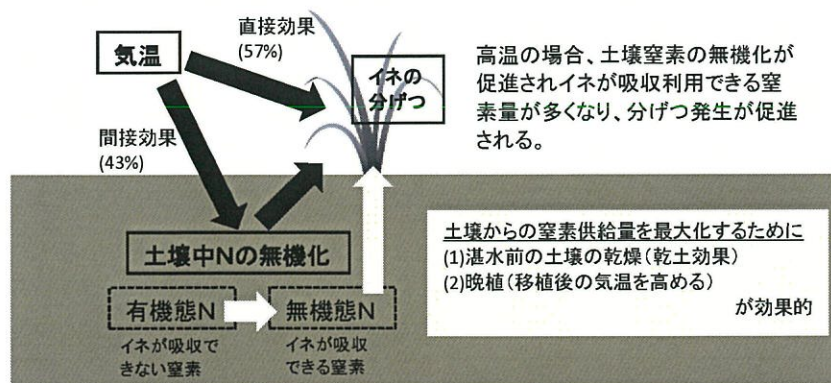


図2 気温が分けつ発生に及ぼす直接効果と間接効果の模式図

3. 雑草被害について

イネの収量に気温が大きな影響をもつことは前述した通りであるが、雑草も無施肥無農薬水田のイネの生長を阻害する大きな要因の一つであり、生産現場レベルでは雑草害を軽減するための様々な取り組みがなされている。東北地方で目立つ取り組みとしては田植え機を改造して土壌表面を攪拌するものが多く、他には手押しのアメンボ号やチェーン除草、低コストな竹ぼうきを用いた方法（図3）などがある。いずれも移植後から1週間程度の間隔をあけて4~5回の除草作業を行っている場合が多く、土壌や灌漑水の攪拌によって発芽したての雑草を土中に埋め込もうとするアプローチが多い。特にイネの生長を阻害する雑草種としてはカヤツリグサ科（図4）のクログワイやシズイ、ホタルイ等の影響が大きいことも分かっているが、カヤツリグサ科雑草は抑草することが極めて難しく、現時点では水稻の無施肥無農薬栽培において最も防除が難しい雑草だと言える。



図3 竹ぼうき除草

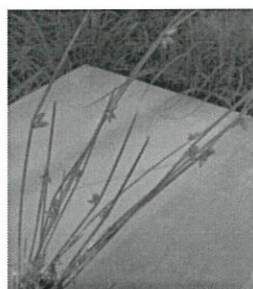


図4 防除の難しいカヤツリグサ科雑草

4. 長期的に 480kg/10a の収量が維持されている水田の特徴

いくつかの水田では、無施肥歴が10年以上に渡るにも関わらず420kg/10aや480kg/10aの収量が安定的に維持されている水田がみられる。現在この高い生産性が維持されている長期無施肥水田の窒素の動態に着目して解析を進めている最中であるが、現時点でいくつかの特徴が分かっている。一つはこの無施肥水田ではイネの生育初期に土壌から十分量の窒素を供給できている点にある。慣行水田では土壌の無機態窒素量は施肥後急増して、イネの窒素吸収や流亡に伴ってその後急減するが、この無施肥水田では湛水後から無機態窒素が徐々に増加し、その後も高い値を維持している。その値は収量が低い他の無施肥水田に比べても著しく高い。無施肥水田で人為的に投入される窒素は前年の作物残渣の稲藁のみであるから、稲藁に含まれている窒素が早い段階で分解・無機化されている可能性が高いと考え、土壌窒素の無機化速度や稲藁の分解速度を調べた。その結果、仮説通りこの水田では稲藁の分解速度・土壌窒素の無機化速度が他の無施肥水田よりも有意に高く、土壌が湛水後の早い段階で多くの窒素をイネに供給できていることが分かった。

また、このことに加えこの水田では自作の改造機械による雑草防除（土壌表層のみを攪拌させる方法）に成功しており、雑草の発生がほとんど観察されないことから、土壌から供給される窒素が雑草に奪われることなく、イネに直接的に供給されていることもイネの初期生育が良い一つの要因と考えられる。このように、長期無施肥水田で高い生産性が維持される要因の一端が明らかとなつてはきているが、依然として不明な点も多い。例えば、無施肥水田では収穫の度に玄米中の窒素を水田外に持ち出しており、そのため理論上は水田内の窒素量は栽培を続けるたびに減少してゆくはずだが、実際には特定の水田で土壌中窒素量が減少せず、高い生産性が維持されている。すなわち何らかの経路で水田に窒素が供給されているはずであるが、この天然の窒素供給経路については現時点で明らかにできていない。可能性としては灌漑水によって供給される窒素や、水田表面に棲息する光合成細菌などによる窒素固定、あるいは近年研究が進んでいるものではイネ根に共生する細菌の共生窒素固定等がある。

5. 無施肥無農薬栽培の展望

無施肥無農薬栽培は依然として他の農業技術に比べて確立された技術とは言えないが、外部資材を農地に投入せず作物生産を行おうとするアプローチは様々な自然共生型農業の中でも特異であり、大きな魅力がある。私の個人的な実感としては、これから農業に関わろうと考えている若年層がどのような農業技術を身に付けていくべきかと考える中で、無施肥無農薬栽培に大きな関心を持っているという印象をもつ。しかしながら、無施肥無農薬栽培の広がり歴史は未だ浅いため、この栽培で農業経営ができるレベルの安定生産を確保するためには、技術の確立が不可欠だと考える。生産者、流通業者、学者、消費者、行政などの多様な立場の人が協力して無施肥無農薬栽培の技術向上につなげることは、持続可能社会の構築において重要なアプローチだと考える。

資料報告

異なる水田における無施肥無農薬栽培水稻の 推定玄米重の経年変化について

小林 正 幸

現在、本会が認証する無施肥無農薬栽培水田は全国 8 府県に点在し、その立地条件は様々である。各々の水田における水稻の生育・収量を調査し経年的に記録していくことは、無施肥栽培の特質を知る上で重要であるが、投入可能な労力に限界があり、全水田において詳細な生育および収量の調査を実施することは困難である。その中で無肥研が継続的に調査をしている福井県、滋賀県および京都府の無施肥無農薬栽培水田における 2015 年の収量結果をまとめた。

なお、調査水田は福井県を除き比較的京都市の近くに位置することから気象庁発表の京都市気象データ（表 1）と京都府亀岡市、宇治市小倉、滋賀県野洲市の無肥研管理水田にそれぞれ設置した自記温度計（K-N ラボラトリーズ製ハイグロクロン）のデータ（図 1）を参考に示した。

2015 年は減反政策により水稻栽培が出来なかった圃場を除き、次のように水稻収量調査を行った。すなわち（1）坪刈り法によるもの 6 圃場（表 2）、（2）株刈り法によるもの 8 圃場（これらは収量要素も調査した）（表 3）、（3）全刈り法によるもの 22 圃場（表 4）であった。その中で収量を経年で記録しているものは、坪刈り法については 7 圃場 17 年間（図 2）、株刈り法については 6 圃場 12 年間（図 3）であった。

《結果》

気象概要

作物の生育と収量に影響を及ぼす要因の一つである天候について、2015 年の水稻栽培期間中（3 月～10 月）の記録をまとめると以下ようになる。

降水量は 5 月と 10 月を除き、多かった。平年と比べれば 3 月+45.7mm、4 月+47.8mm、5 月-32.8mm、6 月+49.0mm、7 月+196.1mm、8 月+109.4mm、9 月+14.2mm、10 月-82.4mm であり、年間の総雨量も平年の 1491.3mm に対して 2042.5mm と過去 50 年にさかのぼっても 2010 年の 2061.0mm に次ぐ 2 番目に多い記録であった。

平均気温は、亀岡、小倉、野洲にそれぞれ設置した温度計と気象庁の京都市気象データの平均気温との間にほぼ差がなかったことから、気象庁の京都市気象データを基に平年と比べれば、育苗から本田移植ごろまでの 3 月から 5 月には 3 月+1.0℃、4 月+1.3℃、5 月+2.2℃と高く推移し、本田移植から出穂ごろまでの 6 月から 8 月には 6 月-0.3℃、7 月+0.4℃、8 月+0.2℃とほぼ平年並みであった。また登熟期にあたる 9 月は-1.2℃と低く 10 月は+0.3℃と平年並みであった。

本田移植（5 月中～下旬ごろ）から収穫期（10 月中旬ごろ）までの間で、平年と比べ特徴的だった天候は、下記の通りであった。

*5 月下旬（コシヒカリ・秋の詩は移植後 10 日程度、ベニアサヒは移植期）は好天が続き、降水量 0.0mm、平均気温 23.1℃（平年比+2.9℃）で、日照時間は日平均 7.7h（平年は 6.2h）であった。

*7月上旬は梅雨（2015年は6月3日ごろ～7月24日ごろ。降水量は平年比144%）の期間であるが、降水量も平年比85%と低く、平均気温は24.4℃（平年より-1.2℃）、日照時間は日平均1.5h（平年4.0h）であった。

*8月上旬はコシヒカリには出穂直後の時期にあたり、降水量15.0mm（平年の42%）、平均気温は31.3℃（平年比+2.7℃）で、日照時間は日平均9.0h（平年6.2h）と大変良好であった。しかし秋の詩の出穂直後にあたる8月中旬から下旬には、降水量は平年比236%、平均気温は27.0℃（平年比-1.0℃）、日照時間は日平均4.3h（平年6.0h）となった。

*ベニアサヒの出穂後にあたる9月上旬は雨の日が多く、降水量143.5mm（平年比320%）、平均気温23.9℃（平年比-2.3℃）、日照時間は日平均2.3h（平年5.2h）であった。

表1 2015年京都市気象データ

		降水量(mm)		平均気温(°C)		日照時間(h)	
3月	上旬	93.0	(30.9)	7.2	(6.8)	30.3	(45.3)
	中旬	60.0	(39.4)	10.1	(8.5)	45.1	(48.8)
	下旬	6.0	(43.0)	10.8	(9.8)	95.5	(52.7)
4月	上旬	68.5	(39.6)	13.3	(12.2)	18.3	(56.1)
	中旬	92.5	(42.4)	14.6	(14.4)	34.9	(56.4)
	下旬	2.5	(33.7)	18.7	(16.1)	96.8	(62.9)
5月	上旬	16.5	(49.4)	20.4	(18.2)	74.8	(59.5)
	中旬	111.5	(67.5)	20.1	(18.6)	63.2	(53.7)
	下旬	0.0	(43.9)	23.1	(20.2)	84.6	(67.7)
6月	上旬	103.5	(44.2)	21.2	(21.9)	47.8	(58.8)
	中旬	30.0	(65.6)	23.5	(23.0)	31.2	(47.8)
	下旬	129.5	(104.2)	23.5	(24.0)	40.6	(31.9)
7月	上旬	66.0	(77.6)	24.4	(25.6)	15.4	(39.6)
	中旬	272.0	(91.0)	28.4	(26.7)	51.7	(37.9)
	下旬	78.5	(51.8)	28.7	(28.2)	61.6	(64.9)
8月	上旬	15.0	(36.0)	31.3	(28.6)	89.9	(62.3)
	中旬	142.5	(48.9)	27.5	(28.3)	41.5	(56.7)
	下旬	84.0	(47.2)	26.4	(27.7)	44.3	(63.7)
9月	上旬	143.5	(44.9)	23.9	(26.2)	23.4	(52.4)
	中旬	24.0	(61.4)	22.3	(24.2)	61.3	(43.6)
	下旬	23.0	(70.0)	22.4	(21.9)	55.1	(40.9)
10月	上旬	28.5	(49.4)	19.3	(19.9)	64.1	(46.1)
	中旬	4.0	(42.1)	18.5	(18.2)	78.7	(52.4)
	下旬	6.0	(29.4)	16.7	(15.7)	91.5	(59.0)

気象庁発表の京都市の気象データをもとに作成。()は平年値

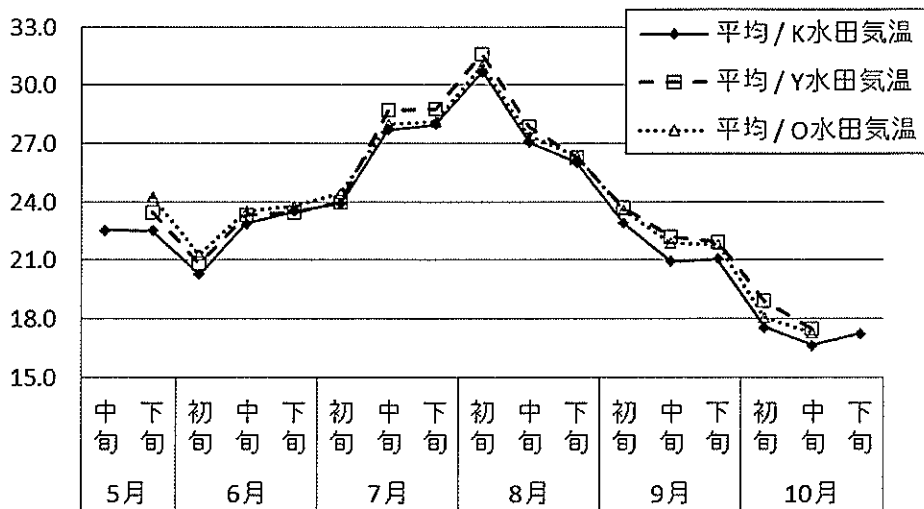


図1 K亀岡、Y野洲、O小倉各水田の平均気温(旬別)

水稲収量

2015年の無施肥無農薬栽培水田収量を調査法別に以下にまとめた。

坪刈り法(表2)で調査を行った6水田は除草作業などの栽培管理が徹底されており、これらの水田で見られる生育・収量の差異は、主に栽培品種、気象条件および立地条件の違いによるものと考えられる。品種は4種類(ベニアサヒ、農林16号、秋の詩、コシヒカリ)であった。対象水田の中で最も収量が多かったのは福井F水田(434.2kg/10a)であり、コシヒカリを栽培している。ここは過去6年間の平均収量が $430 \pm 50 \text{kg}/10\text{a}$ と、比較的収量が多くなる水田である。一方山科Y-I水田(2015年は248.8kg/10a、10年間の平均収量 $259 \pm 31 \text{kg}/10\text{a}$ 以下同じ)では農林16号を、Y-II水田(209.3kg/10a、 $258 \pm 51 \text{kg}/10\text{a}$)ではベニアサヒを、それぞれ栽培しているが、これらの圃場の土壌は小石混じりで、しかも比較的作土層が浅いといわれており、さらに市街地の中にあるなど立地条件が栽培に適しているとは言い難く、収量が上がっていない。同様にベニアサヒを栽培している小倉R水田(2006年に栗東より55年間無施肥栽培を継続した水田土壌の上層耕土15cmを移設した水田)と小倉O水田(2003年より無施肥栽培)の収量は、それぞれ $311.3 \text{kg}/10\text{a}$ と $346.8 \text{kg}/10\text{a}$ であった。小倉R水田およびO水田の過去9年間の平均収量はそれぞれ $302 \pm 46 \text{kg}/10\text{a}$ と $356 \pm 34 \text{kg}/10\text{a}$

表2 2015年水稲収量調査(坪刈り法)

生産者	実施場所	実施開始年	自家採種年数	品種	全乾重(g/m ²)	藁乾重(g/m ²)	精籾重(g/m ²)	粗玄米重(g/m ²)	推定玄米重(kg/10a)	備考	
無肥研	宇治市小倉	R	(1951)	63	ベニアサヒ	844	471	373	306	311.3	注1
無肥研	宇治市小倉	O	2003	63	ベニアサヒ	917	503	414	340	346.8	
上田修一	京都市山科区	Y-I	1965	43	農林16号	607	301	305	250	248.8	注2
上田修一	京都市山科区	Y-II	1965	63	ベニアサヒ	557	299	244	210	209.3	注2
無肥研	京都府亀岡市	K-I	1993	11	秋の詩	700	392	308	247	251.5	
丸山茂子	福井県越前市	F	1997	11	コシヒカリ	990	478	512	418	434.2	

推定玄米重は水分15%で補正した。

注1 2003年より無施肥栽培していた水田の表層土約15cmをスキ取り、そこへ1951年より無施肥栽培を継続していた水田(栗東市辻)の表層土約15cmを2006年12月に移設した。

注2 市街地にあり生育期間中、住宅の陰になることが多い。

であった。秋の詩を栽培している亀岡K-I水田(251.5kg/10a)では、栽培管理は適切に行われているにもかかわらず、過去9年間の平均収量は $267 \pm 51 \text{kg}/10\text{a}$ に止まっている。これは土壌の供給可能な養分量によるのか、灌漑に使われる井戸水の影響か、など、原因として考えられる複数の要因があり、収量の低い原因について今後解明していく必要があると思われる。

収量の経年変動(図2)を見ると、総じて増収と減収を繰り返しているようにみられるが、年によってバラつきがあり、天候よりも、それぞれの圃場の特性が収量の増減に関与しているのではないかと思われた。

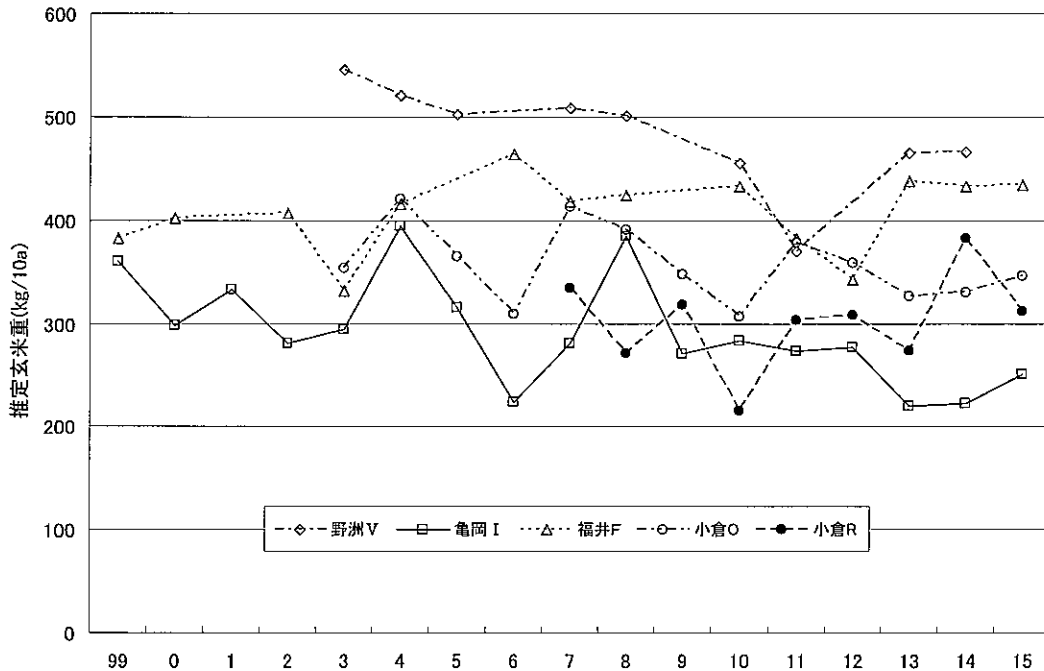


図2 無施肥無農薬栽培水田玄米収量の推移(坪刈り法)

年

株刈り法(表3)では玄米収量を1.8mm目のふるいにかけた精玄米収量で示し、12年間の収量比較(図3)では粗玄米収量を用いた。

表3 2015年水稲収量要素調査結果(株刈り法)

生産者 実施場所	無肥研 野洲市Ⅲ	丸山茂子 福井F	黒瀬 修 綾部市	中村孝太郎 大野市	牧野太平 福井市	坪田宗隆 滋賀県大中	木戸口利雄 東近江市	中道唯幸 野洲市
実施開始年	1995	1997	1998	2003	2009	2000	2003	2007
稈長(cm)	68.1	80.3	68.1	77.1	64.1	78.5	65.5	72.9
穂長(cm)	18.0	21.0	18.1	21.3	17.7	19.8	18.4	19.3
穂数(本/株)	15.2	12.9	9.5	15.3	7.2	13.2	10.2	14.1
稈重(g/株)	22.4	29.3	10.5	24.9	11.5	22.6	14.7	24.9
穂重(g/株)	27.7	33.9	14.9	32.1	11.0	30.6	18.6	26.3
全乾重(g/株)	50.1	63.2	25.4	57.0	22.5	53.3	33.3	51.2
籾重(g/株)	26.7	32.7	14.3	30.8	10.5	29.5	17.9	25.2
粗玄米重(g/株)	21.3	26.1	11.3	23.2	8.1	23.0	14.0	19.2
精玄米重(g/株)	20.3	25.4	10.4	20.5	6.5	21.5	13.2	18.9
推定玄米重 (kg/10a)	360.4	434.7	232.7	323.2	118.4	409.2	259.3	337.9
栽植密度 (株/m ²)	17.2	16.4	21.6	15.2	17.8	18.4	19.3	18.1

品種：中道(夢ごごち) 以外はすべてコシヒカリ
推定玄米重は1.8mmふるいにかき、水分15%で補正した値

株刈り法に供した水田は、中道水田の「夢ごち」以外は全て「コシヒカリ」を栽培しているが、水田間の収量に大きな差が見られる。その原因として、除草などの栽培管理、耕土の深さなどによる活用可能な土壌量、灌漑水を含めた養分の天然供給量の違いなどが考えられる。ことに収量の低い牧野水田(118.4kg/10a)では生育初期から雑草が繁茂し、莖数が確保できず、稲体が小型化(全乾物重22.5g/株)していた。一方で栽培期間中に雑草はかなり多く見られたものの中村水田(323.2kg/10a)や中道水田(337.9kg/10a)ではある程度の収量があった。雑草防除などの栽培管理が十分にできていた野洲Ⅲ水田(360.4kg/10a)や福井F水田(434.7kg/10a)では相応の収量があった。

収量の経年変動(図3)を見ると、坪刈り法でも見られたように株刈り法でも、年次間の収量変動が大きく、増収と減収を繰り返していた。

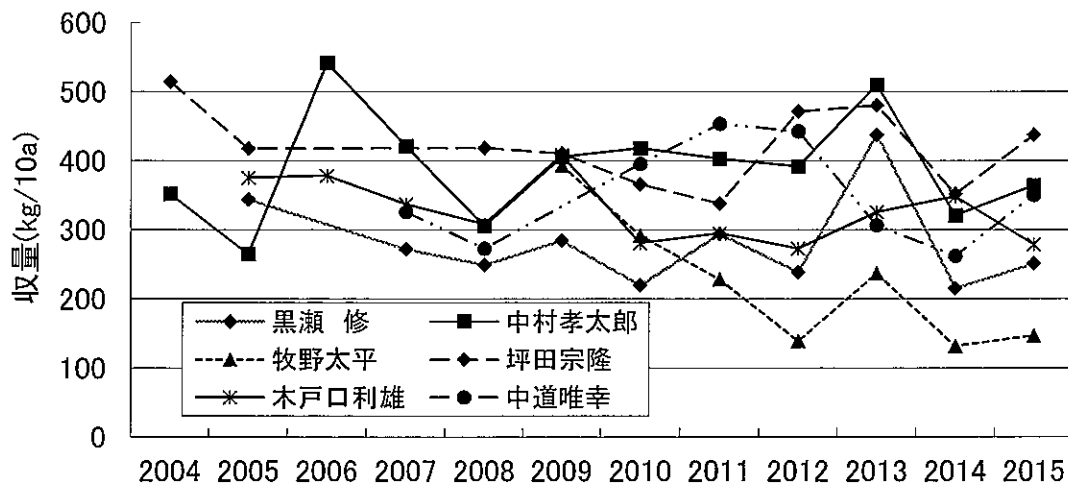


図3 玄米収量の推移(株刈り法)

過去10年間にコシヒカリを栽培した時のそれぞれの圃場の収量および収量構成要素を以下にまとめた(図4~8)。

収量(図4)を、乾物生産(図5)と収穫指数(図6)に分けて見ると、野洲Ⅲ水田および福井水田を除いて収量と乾物生産量はおおむね関係があるように思われた。牧野水田の収穫指数の低さが、やや際立っていた。

穂数(図7)と穂重(図8)に分けて見てみると、どちらも収量と強い関係性は見られなかったが、圃場の間で穂数と穂重の大小が区別できるように感じられた。すなわち、穂数では坪田水田が多く、中村・野洲Ⅲ水田がそれに次ぎ、福井・木戸口・中道・綾部・牧野の各水田は少なかった。一方で、穂重は、福井水田が重く、坪田・中道・中村水田がそれに次ぎ、野洲Ⅲ・木戸口・綾部・牧野の各水田は小さかった。

これらより、早生で穂数型の品種であるコシヒカリであっても、無施肥無農薬栽培の場合、生育前期に養分を重点的に使うよりも、生育の後半まで生長を維持できる水田方が、おおむね多い収量を得られるような傾向が感じられた。

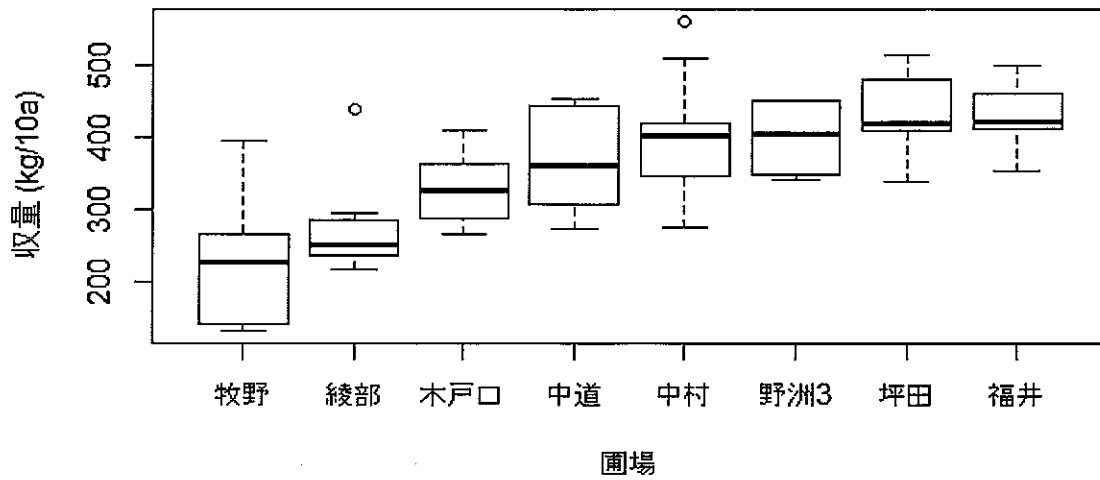


図4 2006年～2015年の圃場別収量(コシヒカリ)

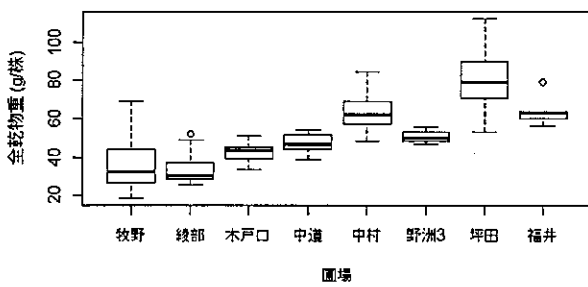


図5 2006～2015年の圃場別全乾物重

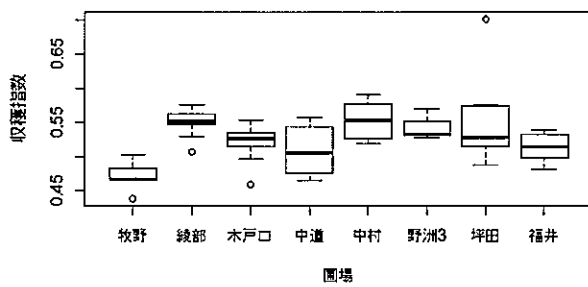


図6 2006～2015年の圃場別収穫指数

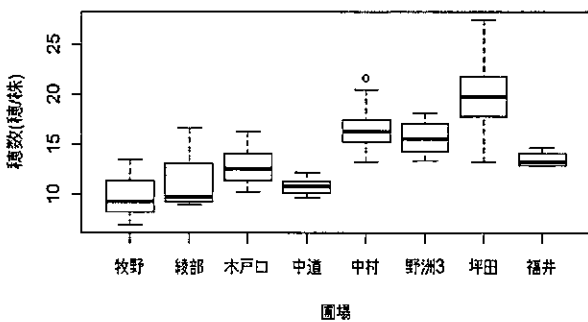


図7 2006～2015年の圃場別穂数

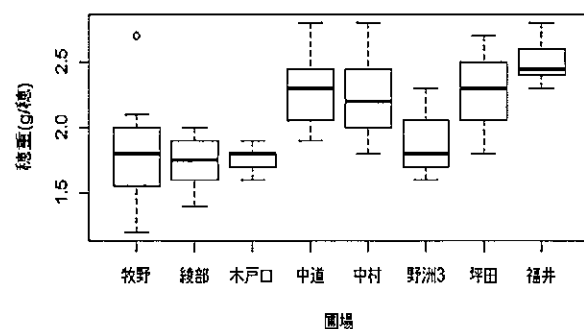


図8 2006～2015年の圃場別穂重

全刈り法(表4)では品種、地域、無施肥継続年数の違いなどが異なる22圃場の収量を参考資料としてまとめた。2015年も圃場によってかなりの収量差が見られた。

表4 2015年無施肥無農薬水田収量(全刈り法)

No	生産者	産地	品種	実施開始年	面積(a)	反収 (kg/10a)
1	無肥研	滋賀県野洲市II	秋の詩	1995	5.6	295.6
2	無肥研	滋賀県野洲市III	コシヒカリ	2003	※6.2	313.0
3	無肥研	京都府亀岡市K1	秋の詩	1993	※8.5	233.1
4	無肥研	京都府亀岡市K2	秋の詩	2009	※9.1	218.8
5	無肥研	京都府宇治市	ベニアサヒ	2003	※27.7	386.4
6	上田修一	京都市山科区	農林16号	1965	2.8	264.4
7	上田修一	京都市山科区	ベニアサヒ	1965	2.1	234.1
8	丸山茂子	福井県越前市今立	コシヒカリ	1997	7.0	436.5
9	黒瀬修	京都府綾部市	コシヒカリ	1998	23.0	182.7
10	井上正人	滋賀県近江八幡市	コシヒカリ	2009	29.0	372.4
11	坪田宗隆	滋賀県近江八幡市	コシヒカリ	2000	50.0	258.1
12	沢昌弘	滋賀県東近江市	コシヒカリ	2010	80.0	240.0
13	木戸口利雄	滋賀県東近江市	コシヒカリ	2003	22.0	
14	木戸口利雄	滋賀県東近江市	コシヒカリ	2006	34.0	☆319.9
15	木戸口利雄	滋賀県東近江市	コシヒカリ	2010	26.0	
16	牧野太平	福井県福井市	コシヒカリ	2009	32.9	
17	牧野太平	福井県福井市	コシヒカリ	2010	49.5	☆150.5
18	中村孝太郎	福井県大野市	コシヒカリ	2003~2011	420.6	未確定
19	平田守	京都府南丹市園部	日本晴	2012	13.0	
20	平田守	京都府南丹市園部	日本晴	2013	13.0	☆403.8
21	中道唯幸	滋賀県野洲市	夢ごこち	2007	32.0	243.9
22	中道唯幸	滋賀県野洲市	コシヒカリ	2010	57.0	336.8

No.1~9は、実測面積、No.10~22は圃場登録の申告面積

※ 調査株を除く面積

☆ 圃場の面積を合算して、反収を算出した。

まとめ

無施肥無農薬水稻栽培において、その収量に影響を及ぼす要因として、同一品種間では天候、土壌、灌漑水及び圃場管理の違いなどが考えられてきた。経年的に収量の推移を見た場合、年毎の収量差が大きく、増収と減収が繰り返される水田が見られるものの、それが同一年でどの水田も同じように増減していることはまれであった。つまり極端な天候の変化でない限り水稻の生育および収量に気象条件の影響は少なく、むしろ除草管理や水管理を主とする圃場管理に収量の増減の要因があるように思われた。また養分の供給・吸収の時期など、栽培する圃場・品種の特性などが、それぞれの環境に適した形になるような栽培技術の確立が、今後の実際的で興味ある課題になると思われる。