

こううんの秘訣

自然農法の是非は土づくりが基本！

三木 孝昭

水田の抑草法としての耕起の役割

自助努力ではどうにもならない困難な状況に置かれた時、多くの人は、できれば運良くその難局を乗り越えたいと願います。私が草だらけの田んぼの中に立つて途方に暮れた時は目を閉じて、次に目を開いた時に草が無くなっていたらどんなに幸せかと想像します。そう奇跡は起こらないのですが、自然農法水稲栽培において、草取りをしなくとも草が減る方法があります。そんな幸せになる自然法則に合う方法が自然農法の技術です。

結論を言えば、正しく耕起することその鍵を握っています。耕耘には、耕すと転（草切る）つまり耕起除草の字義があります。作付けた水稲が田んぼを優占し、

おいしくて評判になるお米を手間もかけずに生産するには、雑草との戦いを終結させる耕起方法が大切です。幸運を呼び寄せる正しい耕耘は、土の生産力発達を助ける正しい土づくり（育土）（29ページ用語解説①参照）となり、それが自然農法の秘訣であるというのが本論の主旨です。

近頃では、水稲の無農薬・無肥料栽培を実現可能にする「自然農法」栽培への関心が高まっています。この関心の高まりの背景は、有機農業というジャンルの中でも自然農法研究が一步進んでいるからであり、有機JAS栽培で継続的に安定生産をつづける自然農法実証圃場の優秀性が注目され始めています。しかし、有機農業者や

自称自然農法実践家の大勢が雑草害による収量低下と除草労力増加に苦しんでおり、より安定的で普遍性のある、有機農業技術の範疇におさまるような技術研究が求められてもいます。著者らは、こうした現状に 대응する画期的な育土研究を進めています。

有機農業で土づくりをする場合の主な方法として、堆肥や有機肥料を利用することが当たり前になっていますが、自然農法では元々、無肥料栽培として有機肥料に依存しない育土に熱心に取り組んできました（用語解説②参照）。肥料を使わなければ雑草は増えないものの、痩せ地では雑草の方が勢いがあるので、水稲が雑草に負けてしまうなど、生産には苦勞が

写真1
発酵有機質肥料
(ボカシ) 散布
の様子





多く、経済性が伴わないことも度々ありました。そこで、堆肥や有機肥料を、作物の肥料ではなく土を育てるための餌としてとらえ、作物や土への害（肥料害＝肥毒）がでないよう発酵させてから施用したり、土の中の生きものを増やす目的で堆肥等の有機物を施

雑草を抑える有機物の除草効果

用して土の中で発酵させるといった、土づくりで生産力を高めることができる方法をとってききました。こうした方法を育土と呼び、正しい土づくりによって順調に土の生産力や土の病虫害抑止力などが高まることを明らかにしてきました。特に、雑草の生えにくい土

を育てるには、有機物が土になじみ新しい土が生まれ育つ過程や、施さないことも含めて土の能力や状態に合わせた有機物の使い方が大切で、これらが耕起や除草作業とも大きく関わっていることが分かってきたのです。

有機水稻栽培の一般的な除草技術として、耕耘や複数回の代かきが行われます。これに米ぬかなどの新鮮な有機質肥料を組合わせた除草技術や、除草機開発など、除草を容易にするための雑草を抑制する様々な「抑草技術（用語解説③参照）」が確立されつつあります^{1),2)}。有機質肥料による抑草には、有機物分解を促す温度が重要で、分解に伴う水田土壌の還元化（酸素が不足する状態）や田面水中の溶存酸素の低下など^{3),4)}が影響することが指摘されています。筆者らが行った田植え後の発酵有機質肥料（写真1・以下、ボカシと呼ぶ・用語解説④参照）の施用試験では、田植え後20日間の気温が低い5月中旬田植え（平均16℃）よりも、気温が高い6月上旬田植

え（平均19℃）の方が雑草害を低減しました。また、ボカシの除草効果は水稻の苗にも影響があり、6月上旬田植えでも稚苗（本葉2・5枚）を植えると生育障害が見られたのに対し、中苗（本葉4・5枚）ではボカシ施用による影響が見られないことが明らかでした⁵⁾。この理由として、ボカシから溶け出るアンモニア態窒素や有機酸が気温が高い場合に多くなり、除草効果が高まることが考えられます。同時に、ボカシは微生物の餌にもなるので、温度が高いと抑草の働きがある水生ミミズの活性を高め増殖も促すと思われます。こうした抑草効果には、有機物分解を左右する気象条件や生物などが複雑に絡みます。そのため、条件の異なる多様な生産現場におい

て、抑草効果は再現しにくく、むしろ土壌還元が強く発達（強還元）して、水稻・雑草の根に障害を起こすこと（異常還元）による除草効果の方が目立つくらいです。そうした有機質肥料を始めとする有機物の害や益を理解して上手に利用するには、土壌環境との組み合わせが重要で、その環境が変わる栽培時期と耕耘、水管理と代かきによる有機物の熟成分解の状態が、抑草効果を変えることになるのです。つまり、それぞれの田んぼの状態を把握すること、有機物の害を出さず、田んぼの生産力である生物の活力を引き出すこと、それが、自然農法にとって大切な育土技術の狙いになると言い換えられます。堆肥であっても有機質肥料



写真2 4月下旬の供試圃場（各区画）の様子

であっても、有機物が土に生まれ変わることので得られる、活力の高い土が雑

草の生えにくい状態をつくることになるのです。

異常還元問題とボカシの除草効果を確かめる試験

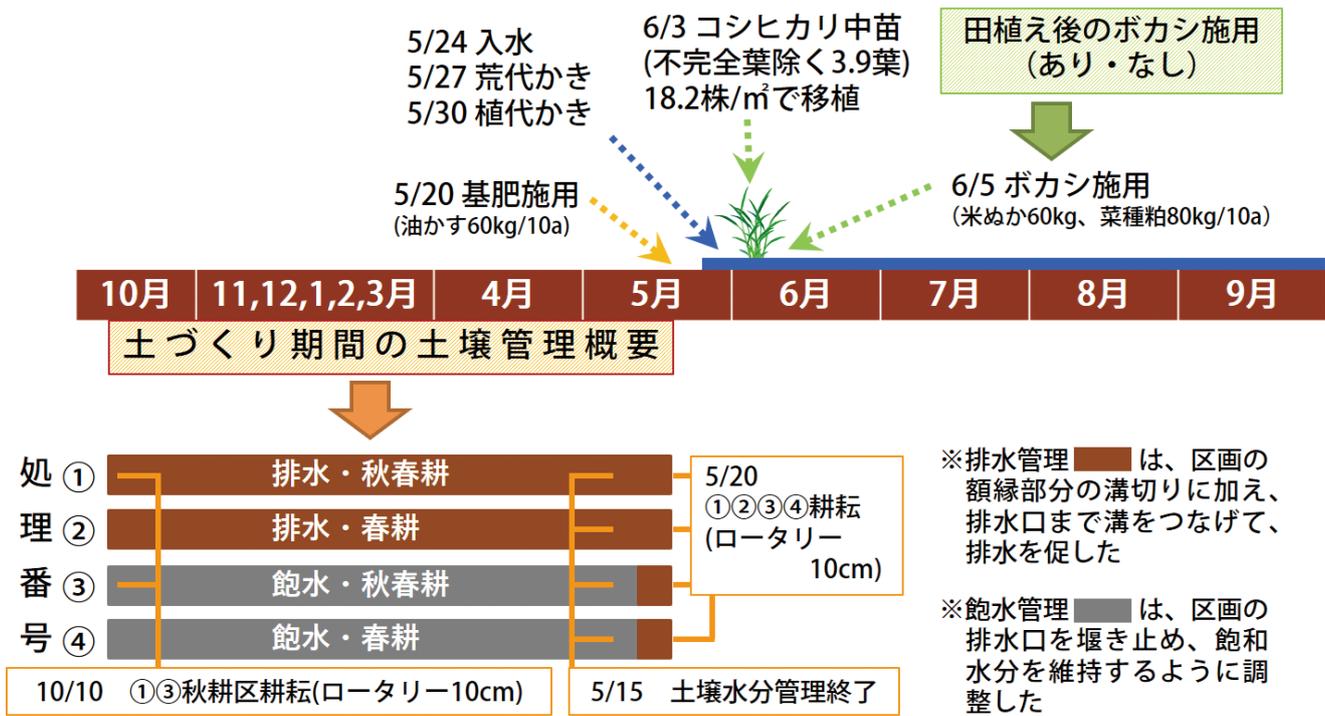
栽培期間中の土壌還元の発達には、前年の収穫から田植え前の期間中の育土条件が大きく影響します。国内では昭和30年代のコンバインの普及によって、全量の稲わらをすき込むようになり、しばしば水稲の初期生育不良が見られるようになりました。全国的に試験が行われましたが、ちょうど同時期に除草剤が普及し、多肥栽培と除草剤によって、この稲わら問題は世の中から姿を消しました。近年になって有機

も分解が止まり、水たまりの中にあっても分解が進みにくくなります。また、気温が低下する秋から春にかけて寒冷地では稲わらの分解はゆっくり進み、一定の時間がかります。

農業が国の推進目標に掲げられると、異常還元問題が再び注目され、有機水稲作における解決すべき課題として認識し直されました。筆者らの研究では、田植え後の稲わら分解量が多いほど、土壌が異常還元をおこして雑草が問題化することがわかりました（気候変動対策プロジェクト^⑥）。つまり収穫後田植え前の間（以下、「土づくり期間」と呼ぶ）に、稲わらが十分に分解していないと異常還元が起りやすく雑草害につながるといえます。

土づくり期間に稲わらが順調に分解するには十分な稲わらの土中分解期間と適度な水分環境が必要で、乾燥して

そこで、稲わらの土中分解期間や土壌の水分環境に着目した試験を行いました。試験は2014年に公益財団法人自然農法国際研究開発センター（長野県松本市波田）の標高650mの水田（礫質灰色低地土）で行いました。この水田は1993年から無農薬・無化学肥料で栽培を継続しています。試験処理は、土壌水分状態を変える**排水管理**（雨が降っても水がたまらないよう排水路を造った水田）または**飽水管理**（排水せずに水をためる水田）と、**秋春耕**（土中で稲わらが順調に分解するように、できるだけ温度の高い期間を長くとる秋にすき込む耕起）または**春耕**（直前の春先のみすき込む耕起）の耕起管理を組み合わせた、4つの水田をつくりました。そのうえで、それぞれの水田で田植え後のボカシ施用による除草効果を比較しました（前ページ写真2・図1）。



試験開始前の土壌の理化学性は、pH(H₂O)5.86、EC 0.06mS/cm、全炭素 4.59%、全窒素 0.37%、P₂O₅ 17.9mg、K₂O 75.8mg、CaO 282.3mg、MgO 48.5mg、CEC16.1 meq/100g

図1 処理内容と耕種概要

ボカシの効果は水稲を栽培していない土づくり期間が影響する

結論を先に言えば、有機物の田面施用の除草効果を高めるには、土づくり期間中に圃場の排水を促して秋期や春期の水たまり(飽水)状態を避け、稲わらを充分に分解させることが大切です。適切な水分状態で稲わらを分解させることで、北陸の豪雪地帯でも抑草効果を実証しています。では、土づくり期間の土壌管理がどのように関係するか、試験結果を解説しながら確認していききたいと思います。

(1) 土づくりで変わる稲わらの分解

土づくり期間の土壌含水率の経過が図2です。排水・秋春耕区および排水・春耕区の平均土壌水分はそれぞれ32%と34%と低く、飽水・秋春耕区および飽水・春耕区はそれぞれ43%と42%で高めに経過しました。稲わらすき込み後の7cm深の地温の積算温度は、稲わらを秋にすき込んだ排水区が1568日℃、飽水区が1777日℃と飽水区が200日℃高く、春すき込みは排水区が260日℃、飽水区が244日℃と差がありませんでした。

田植え時の稲わら分解率をみると、排水・秋春耕区が54%と最も高く、飽水・春耕区が38%と最も低くなりました(図3)。久保田が「土壌中での稲わら分解速度は地温に大きく支配され、湛水状態より畑状態の方が早まる」と指摘しましたが、この試験では、稲わらすき込み後の積算温度より、排水管理が強く影響しました。積算温度が高くても、酸素の供給されにくい水たまり状態の飽水管理では稲わら分解が抑制され、一方で排水管理と秋耕によって稲わらの分解は進み、春耕区の結果から稲わらすき込まなくとも一部は分解することが分かりました。

(2) 土づくりによって変化する土壌の化学性

土壌管理が違っていると、栽培している水田の土壌にも物理的、化学的な変化が生じます。特に窒素の無機化と土壌の還元化が、雑草が増えたり稲の生育が旺盛になったりといった結果に影響しているため、土づくりが雑草を抑えるまでの化学的变化についてここで詳しく説明します。少し話が難しくな

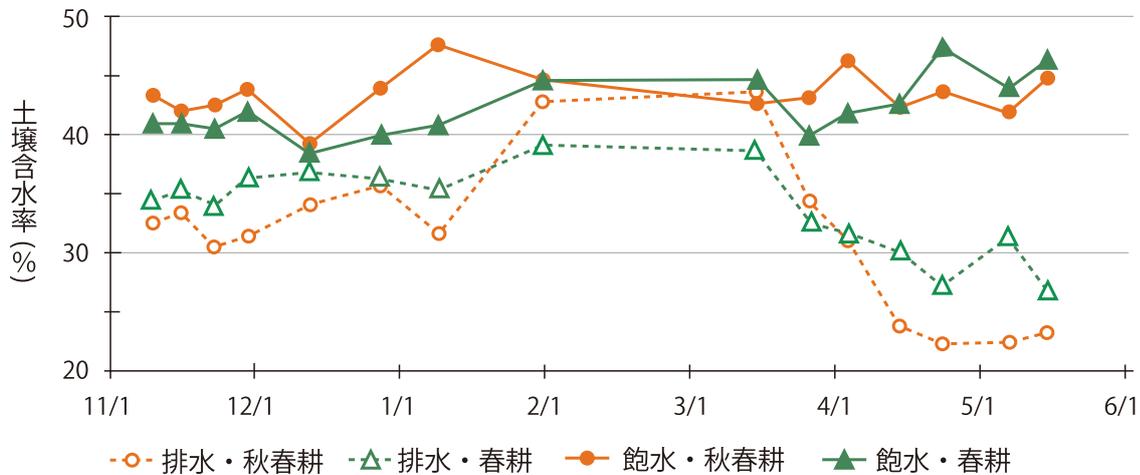


図2 土づくり期間の土壌含水率の経過

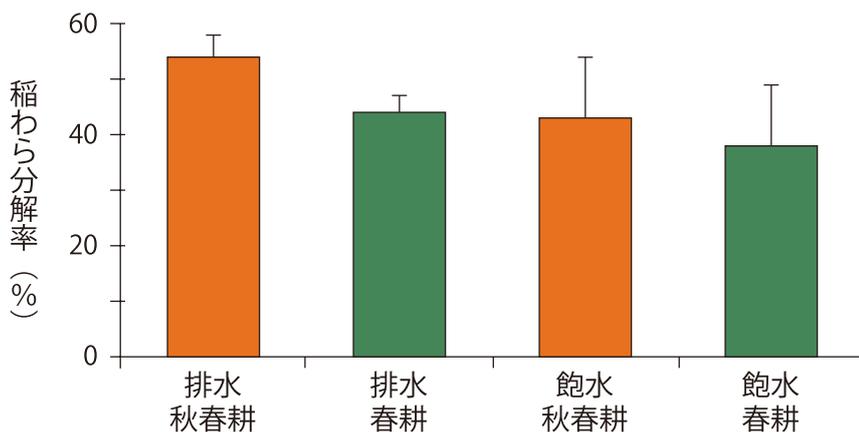


図3 土づくり期間の稲わらの分解率 (田植え時)

りますので、結論だけ知りたい方は、この項は読み飛ばしていただいてもかまいません。

田面に施用されたボカシによって土壌中のアンモニア態窒素は増加し、還元化に伴って二価鉄が増加します。ボカシを施用しないでアンモニア態窒素を測ると、排水・秋春耕がやや高い程度で土壌管理の違いによる差はほとんど無く、田植え後21日目と29日目に土壌中濃度のピークを迎え、39日目にはおそらく水稻の吸収によってアンモニア態窒素濃度は低下しました(図4左)。二価鉄はかなり傾向が異なり、排水・秋春耕だけ田植え後9日目が最高値でその後は低く推移し、他の土壌管理では39日測定まで増加し、飽水管理でより多くなる傾向がみられました(図4右)。

こうした土壌管理の違いの上に、さらに田植え後2日目にボカシを施用した時のアンモニア態窒素増加量は、排水区が飽水区に比べ施用後7日目(田植え後9日目)の時点では無く、19日目まで増加が抑えられ、27日目に増加しました(図5左)。つまり田植え20日頃まで、ボカシを施用して増加した無機態窒素の量は、排水区が飽水区に比べて少なく、秋春耕

区が春耕区に比べて少なくなりました。

一方、有機物の分解に伴う還元化の目安になる土壌中の二価鉄含量については、飽水区が排水区に比べてボカシ施用によって早く(7日目に)増加して27日目には一転減少しました。また、秋春耕区が春耕区に比べて常に増加量が多くなる傾向を示しました(図5右)。つまり、ボカシ施用によって飽水区では田植え後10〜20日の間に土壌中に多く残った未分解稲わらなどの有機物の分解が急激に進んで強還元状態になったことが分かります。それに比べ、排水区では田植えまでに稲わらの分解が進んでおり、還元がゆっくり進むことで田植え20〜40日の時点での二価鉄が増加したと考えられます。

(3) 土づくりによって変わった「コナギ埋設種子の越冬」

土づくり期間に水田に埋設したコナギ種子は、排水・秋春耕区で発芽率が低いのに対し、飽水・秋春耕区で80%以上の高い発芽率を示しました(写真3)。土壌水分が20%近くまで低下した排水条件がコナギ種子の休眠状態の維持や

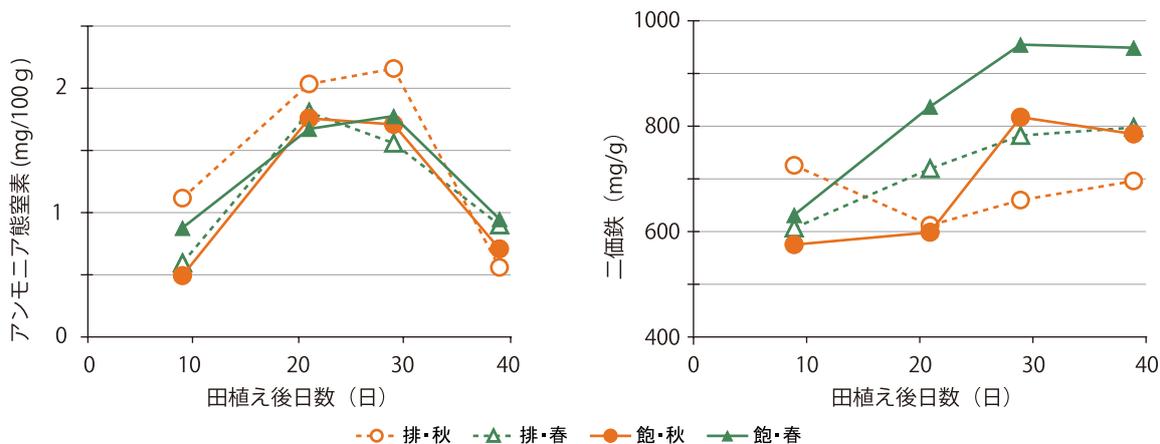


図4 土づくりで変わる土壌中のアンモニア態窒素と二価鉄 (ボカシ施用なし)

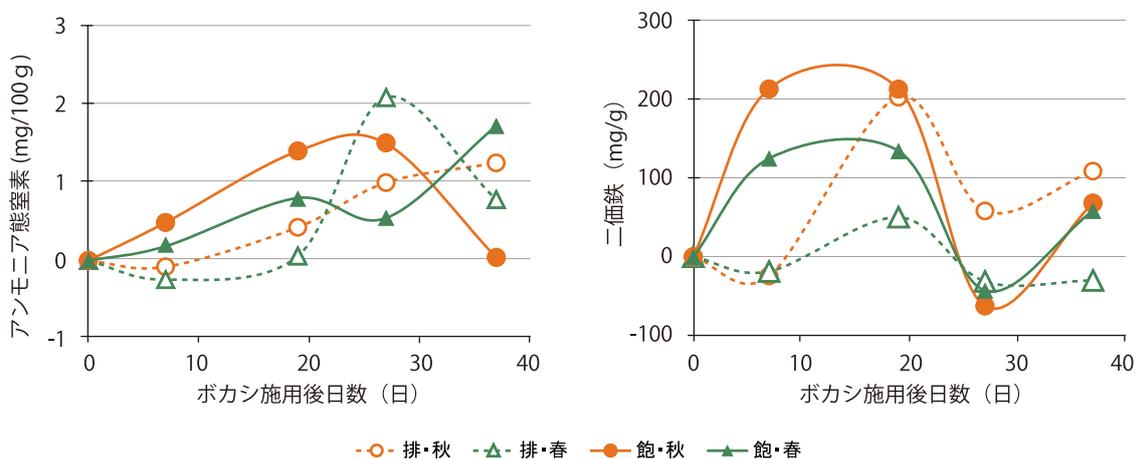


図5 ボカシ施用で増加する土壌中のアンモニア態窒素と二価鉄 (ボカシ施用なしを0とした場合の増加量)



写真3 土づくり期間に埋設したコナギ種子の発芽の状況
コナギ種子 50 粒を不織り布にくるみ、秋耕起直後の土中に埋設した。田植え直前に種子を回収して試験管に播種し、30℃（明 12h 暗 12h）条件で 9 日間経過。

田植え後田面にボカシを施用することで、全ての管理で水稻重は増加し（図 6 b）、飽水・春耕区を除いて雑草重は減少しました（図 6 c）。ボカシ施用時／無施用時の雑草重量群落比（WFR）を比較すると、飽水・秋春耕区では 0.21 / 0.30 でボカシ施用の抑草効果が小さいのに対し、排水・春耕区では 0.12 / 0.41 となり、ボカシ無施用時には飽水・春耕区と同じく最も雑草が優占したのに、ボカシ施用では排水・秋春耕区のボカシ無施用と同程度に

出穂期に調べた雑草と水稻の乾物重量から、雑草（水稻）の優占度として雑草重量群落比（WFR＝雑草重／（雑草重＋水稻重））を計算しました。雑草の中で最も多かったコナギは、飽水管理によって耕起管理やボカシ施用の有無にかかわらず、ほぼ同じ重量（約 65 g / m²）になりました（図 6 a）。土壌管理とボカシ施用の組み合わせで、最も雑草が少なかったのは排水・秋春耕区であり、最も多かったのは飽水・春耕区でした（次ページ写真 4）。

（4）土づくりと田面施用の組み合わせで変わる水稻と雑草の優占度
死滅に影響したと考えられ、40%以上の土壤水分を維持した飽水条件が休眠覚醒を促進したと推定されます。汪ら⁸⁾は、「コナギの休眠覚醒は単に低温や低温土中条件よりも低温水中あるいは湛水土中条件などで促進される」としています。これから、飽水管理がコナギの生存に有利に働き、同時に休眠覚醒を促したと考えられました。

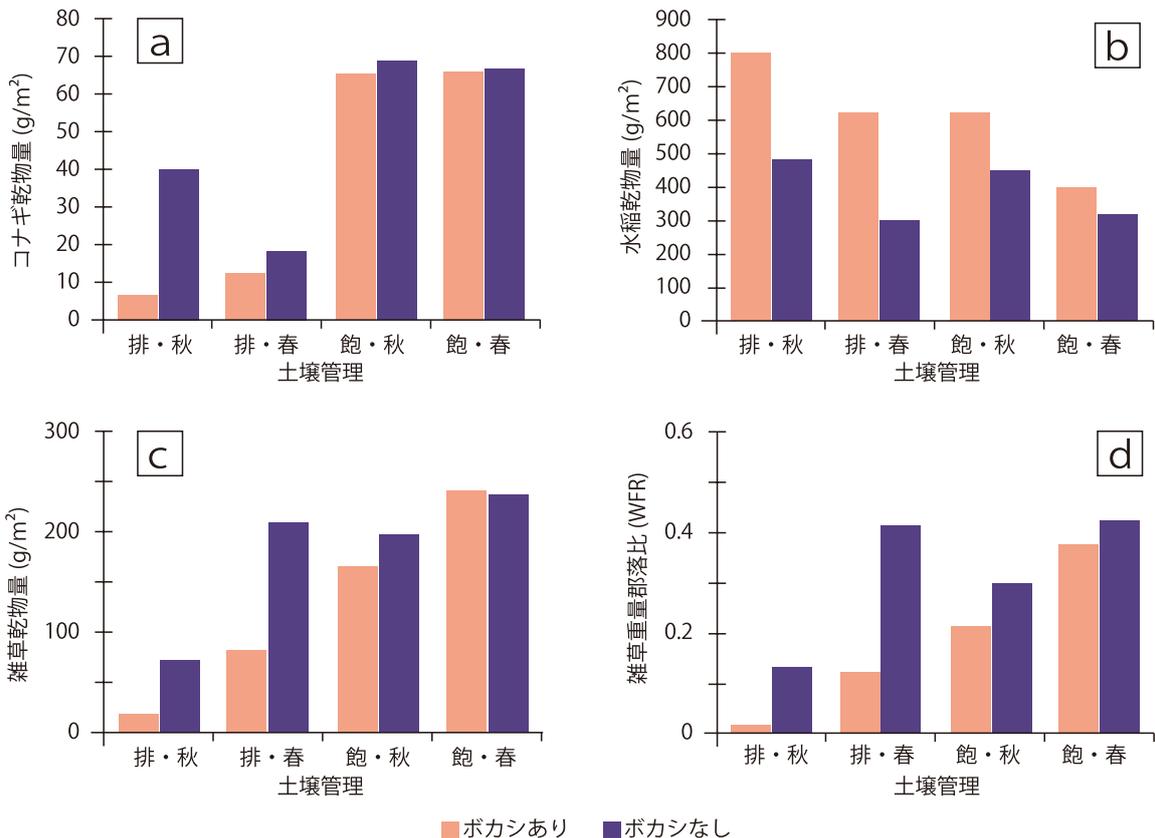


図6 土づくりとボカシ施用による雑草との競合（出穂期）

土づくり期間の土壌管理



写真4 田植え46日後の雑草放任部分の様子

以上のように、田植え後の有機物施用による抑草効果が最も高かったのは、秋耕を実施し、排水する土壌管理でした。稲わらが時間をかけて土に変わることによって田植え後の急激な還元化が抑えられて、土の能力は高く維持されつつ雑草を抑えることで生産性を高めたようです。排水不良となりやすい湿田条件では、土づくり期間の稲わらの分解は抑制され、田植え後になつてから稲わら分解量が増加し、二価鉄の生成量が増えて土壌が還元化しやすく、その結果、水稻生育が抑制され雑草害が問題

田面施用の抑草効果に影響する育土のまとめ

雑草優占度が低下しました(図6d)。つまり、ポカシの施用は水稻生育量に対しての増加効果はあるものの、雑草抑制効果は土壌管理によって明確に異なることが分かりました。こうした土壌管理と田面へのポカシ施用の組み合わせにより、雑草優占度の低下に反比例して水稻収量は増加しました。排水・秋春耕区は除草しなくても減収率は小さく、精玄米重が

化しやすいと考えられました。この考察と同じように、千葉ら⁹⁾も「寒冷地のグライ水田土壌では、秋にすぎ込んだ稲わらは、冬期間の分解量が少なく、代かき直後から急激に分解するため、土壌中の酸化還元電位が低下し、二価鉄の生成量が急激に増加して水稻の初期生育の抑制や窒素、リン酸の吸収量が低下することを報告しています。今回の試験では、田植え後のポカシ施用で増加する土壌中のアンモニア態窒素が水稻および雑草に吸収される量についても測定しており、やはり土壌管理に

最も多く、田面施用による19%の増収効果が認められました。飽水・秋春耕区で除草しない場合の減収率はやや多く、田面施用による増収効果も9%でした。排水・春耕区は田面施用により29%もの増収が認められました。飽水・春耕区が無除草で減収率が最も多く、除草の有無に関わらず最も収量が少なくなりました(表1)。

表1 ポカシ施用時の土壌管理毎の収量

土壌管理	雑草放任部分		除草部分					
	収量※1 (g/m ²)	減収率※2 (%)	収量※1 (g/m ²)	増収効果※3 (%)	穂数 (本/m ²)	1穂 粒数	登熟 歩合	千粒重 (g)
排水・秋春耕	411	15.4	486	19.4	398	83	0.76	21.8
排水・春耕	358	13.7	415	28.5	362	73	0.81	21.5
飽水・秋春耕	373	16.6	447	9.3	389	66	0.79	21.9
飽水・春耕	258	27.9	358	11.9	328	59	0.84	21.5

※1 精玄米重、> 1.85mm ※2 除草部分の収量に対する雑草放任部分の収量の減少割合
 ※3 ポカシ施用なし区の収量を100としたときの増加割合



よって差異が認められています（アータ省略）。田植え後の稲わら分解量が少なく異常還元を起こしにくい条件では、有機物から供給される養分を水稲がうまく吸収して生育量を増大させ、雑草との競合において稲に有利に働いたのに対し、異常還元になると水稲の養分吸収能力の低下に加えて雑草との競合に負けるため、雑草害が問題となるのです。

こうした関係性を踏まえると、田植え後の有機物田面施用による抑草効果は、栽培期間中における土壌表層の酸化還元電位や溶存酸素量の低下³⁾などによる直接的な除草効果に加えて、水稲生育促進による間接的な抑草効果の二つの働きから有効な雑草抑制の働きが得られることが判ります。さらに、土づくり期間の耕起時期や土壌水分が土壌の還元状態に影響を与え、雑草種子の休眠や越冬率を変えることは容易に予想がつきます。そうした複数の要因によって、田植え後の水稲初期生育力が高まることで雑草との競合上有利となつて雑草害そのものが低減すると考えられます。

以上のことを踏まえて、ごく平凡な結論となりますが、自然農法

を継続する上で目指すのは、水稲生育そのものを良好にして雑草などの問題を解決するように土を育てることです。ただし、それぞれの多様な圃場環境に合わせて、水稲が健全に育つような耕種管理を適切に組み合わせなければなりません。画一的な方法に囚われることなく、自然法則を規範として、自然条件に順応した栽培管理を工夫することが、有効な抑草技術確立の一番の近道であり、自ら引き寄せることができる幸運の秘訣となるはずですよ。

用語解説

①有機肥料を使った土づくりと育土

一般的な土づくりでは堆肥や有機質肥料（有機肥料）などの有機物を施用することで、その施用量に応じ養分や物理性の改善による地力上昇を期待する。しかし、土の生物性改善を伴わない有機物の腐敗分解や急速な分解の結果、硝酸塩、メタンガスや亜酸化窒素として放出されることで土壌、大気、地下水の汚染が進み、地力は一定程度にとどまる傾向にある。

一方、自然農法の育土は、従来の土づくり概念に加えて、発病や汚染の原因となる過剰な養分として有害な肥料が無い「無肥料状態」を目標としている。土壌生物が持つ能力に合わせ、土壌生物との共生関係を強化し有害生物の繁殖を抑えるように、有機物の発酵分解を誘導することで、有機物を土壌腐植として蓄積し生物の養分固定力などの共生循環の働きを引き出すことが育土の必要条件になる。土が育つために時間をかけることで、作物生産に有利な生物活性を高め地力が向上し、雑草や病害虫発生を抑える能力も高まり生産力が安定する。

②有機農業と自然農法

現行法では自然農法は有機農業の一部または同等と見なされている。ただし、詳しく検証すると、有機農業は化学物質を排除することに固執し、有機肥料などの化学肥料代替物を積極的に利用すると考える人が多く、自然農法は自然を重視するあまり、人為的な手を加えない放任栽培が正しいと考える人が多いといった、それぞれの名称から連想される誤解がある。有機肥料の有機という言葉と、無肥料の無という言葉について、あるいは農法や農業という言葉の意味について、正しい解釈を検証されたい。

③除草と抑草

除草は生えた雑草を除去、取り除くこと。抑草とは雑草が発生しにくく生長しにくくすること。

④有機質肥料と有機物

植物性や動物性の生物遺体のうち養分を一定濃度含む高栄養の有機物を有機質肥料と呼び、作物残渣や落ち葉、堆肥など有機物全般と区別する。有機質肥料は一定の特徴や性質が期待でき、腐敗菌が少ないことから、優良な発酵肥料の材料として利用しやすい。一方、土壌中には有機質肥料などの有機物を餌として繁殖する生物が多く、作物の病害虫の餌となる場合も多いので、できるだけ有害な生物の繁殖を避けるように、腐敗分解を避けて発酵分解を促すように施用位置や施用後の水分に配慮する必要がある。

参考文献

- 1) 福島裕助・内川修 (2002) 水稲の減農薬栽培における米ぬか散布による水田雑草の防除、日作九支報 68、40-42p.
- 2) 大場伸一 (2002) 水田雑草発生に及ぼす米糠水面散布の影響、雑草研究 47(別)、116-117p.
- 3) 室井康志・小林勝一郎・高井芳樹 (2005) ヒメタヌビエの生育に対する米ぬか粉剤ならびにペレット剤の作用、雑草研究 50、169-175p.
- 4) 中山幸則・北野順一・牛木純 (2002) 米ぬかの水田雑草に対する除草効果、雑草研究 47(別)、118-119p.
- 5) 三木孝昭・岩石真嗣 (2009) 移植時期を変えたボカシの表面施用効果、自然農法 Vol.63、16-19p
- 6) 農林水産省 (2012) 稲わら分解を指標とした有機水稲栽培安定化の作業体系、気候変動に対応した循環型食糧生産等の確立のための技術開発 研究成果発表会、121p.
- 7) 久保田勝 (1992) 新潟県における湿田・半湿田に対する稲わらの施用法に関する研究、新潟県農業試験場研究報告 Vol.39、1-87p.
- 8) 汪光熙・草薙得一・伊藤一幸 (1996) ミズアオイとコナギの種子の休眠、発芽、出芽特性の差異、雑草研究 41、247-254p
- 9) 千葉満男・島津了司・武藤和夫・内田修吉 (1980) 水田における稲わら施用と稲作の安定化、岩手県立農業試験場研究報告第 22 号、81-117p.