

土壌診断に基づいた土壌改良材の施用による 田面水の清水化と水稻の収量性

横田仁子 大森誉紀

Effect of a Soil Conditioner, Based on the Soil Diagnosis, on the Suspensoid Density in Flooded Paddy Fields and Rice Yield

YOKOTA Satoko, OOMORI Takanori

要 旨

近年、愛媛県鬼北地域で、水田から流出する農業濁水が三間川を經由し、四万十川へ流れ込み、河川の景観等に影響を与えているとして環境問題に取り上げられている。そこで、問題解決のために田面水の濁度を早期に清水化できる対策を現地で実証した。土壌診断に基づいて選定した土壌改良材(硫酸マグネシウム)と化成肥料を代かき前の水田に施用した結果、代かき1日後に田面水の濁度を対照区より明らかに低下させることができた。施用した土壌改良材に要する経費は4,820円/10aであったが、現地の慣行栽培に比べ収量は10%増加した。

キーワード：代かき，農業濁水，透視度，懸濁物質，硫酸マグネシウム

1. 緒言

愛媛県の南西部に位置する鬼北地域は、宇和島市三間町、北宇和郡鬼北町及び松野町を含む市町から成り立っている。この地域を流れる三間川は奈良川、広見川と合流したあと、本流の四万十川につながっている。鬼北地域は県内でも有数の水田地帯であり、栽培品種は極早生種の‘コシヒカリ’‘あきたこまち’が主体である。そのため、代かきや田植え作業は4月下旬から5月上旬の限られた時期に集中し、慣行作業として2回代かきが行われている。このことから、当地域では水田の田面水は濁った状態が長く続き、強制落水や降雨により濁った田面水が河川に多く流れ込む場合がある。すなわち、三間川や広見川に流れ込んだ農業濁水が本流の四万十川の景観等に影響を及ぼし、環境負荷を与えているとして問題視されている。

水田の濁水の発生を軽減させる技術には、滋賀県の先進事例があり、代かき時期に石膏資材を施用することにより濁水の発生を軽減できることが報告されている(赤江, 1992; 赤江, 1994; 駒井ら, 2004)。富山県ではケイ酸石灰を200kg/10a量で施

用し、その後2週間以内に代かきをすることで田面水の懸濁物質の沈降が早まることが報告されている(大野ら, 2006)。

しかしながら、水稻の収量や品質などの生産性に関係なく一律に土壌改良材を水田に投入する技術は、コスト負担の観点から現場への導入は難しいことが考えられる。そこで、本試験では、栽培前に現地圃場の土壌分析を行い、その診断結果に基づいて選定した土壌改良材と化学肥料を施用し、田面水の濁度の低減や水稻の収量性に及ぼす影響を明らかにした。なお、本報告の一部は平成22年度日本作物学会四国支部第46回講演会で口頭発表した(横田ら, 2010)。

2. 材料および方法

2.1 現地土壌の粒径組成

2009年5月に宇和島市三間町の水田土壌を採取し、風乾後2mmの篩に通し供試土壌とした。粒径組成はピペット法(財団法人日本土壌協会, 2001)により測定した。対照として愛媛県農林水産研究所内(松山市)の水田土壌を同様に測定した。

2.2 現地供試資材の選定

40ml容量培養管に、2.1の供試土壌10gと表1に示す供試資材を20mgずつ入れ、これに純水を40ml加え、よくかき混ぜた後、静置した。24時間経過後、上澄み液の懸濁物質濃度（以下、SS濃度、測定機器：水質分析計DREL/2000、HACH社製）を測定した。なお、土壌10gに供試した資材20mg量は、10a当たりでは資材200kg施用量に相当する。

2.3 硫酸マグネシウム添加量試験

500ml容量沈降ビンに2.1の供試土壌を100gとり、硫酸マグネシウムを0,20,40,60,100,200mgの5水準で添加した。化学肥料添加区には塩化アンモニウム（以下、塩安）、過リン酸石灰、塩化カリウムを各15mg加え、対照区として化学肥料未添加区を設けた。この500ml容量沈降ビンに水道水を標線まで加え30分間往復振とうした。24時間後に水面から3cmの位置の上澄み液を採取し、SS濃度を測定した。

2.4 現地圃場の土壌分析

2010年5月に宇和島市三間町の試験水田の土壌を採取し、風乾後2mmの篩に通し供試土壌とした。化学性の分析は定法（財団法人日本土壌協会、2001）により、pH（H₂O）、EC、可給態リン酸（トルオーグ法）、交換性塩基（原子吸光法）を測定した。この分析結果に基づき、土壌改良材と化成肥料

を施肥設計した。

2.5 現地試験

現地試験の耕種概要は以下のとおりである。2010年5月7日に、試験圃場には土壌改良材と化成肥料（過リン酸石灰、塩化カリウム）を、対照圃場には高度化成肥料のマップ202を施用した（各圃場の面積は2600m²）。硝化作用による損失を防ぐため、塩安だけは入水1日後の5月13日に試験圃場に散布し、ただちに両圃場で代かきを行い、5月16日に‘あきたこまち’を移植した。入水以降には強制落水は行わず自然減水とし、田植え後に再び入水を行った。田面水の採取は、代かき直後（5月13日）、代かき1日後（5月14日）、田植え直前（5月16日）、田植え1日後（5月17日）に行い、SS濃度及び透視度（透視度計500型用シリンダ、サンブラテック社製）、pH、EC、全窒素（総和法）を測定した。7月20日に草丈、茎数、葉色を調査し、8月30日に茎数調査と坪刈りを行い、全重、もみ重、わら重、精玄米重並びに収量構成要素を調査した。

3 結果

3.1 現地土壌の粒径組成

宇和島市の水田土壌の粒径組成は、粘土含量が33%、シルト含量が31%で、土性はLiC（埴壤土）であり、松山市の水田土壌と比較して粘土やシル

表1 供試資材

区 分	資 材
土壌改良材	石灰質肥料：硫酸カルシウム ¹⁾ 、消石灰、動物石灰 ²⁾ 、苦土石灰鉄・けい酸質肥料：美土里 ³⁾ 、フェロケイカル ⁴⁾ 苦土質肥料：硫酸マグネシウム 腐植酸苦土肥料：アヅミン ⁵⁾ 土壌団粒促進剤：キッポPXスーパー ⁶⁾
肥 料	窒 素： 塩化アンモニウム、硫酸アンモニウム、尿素 りん酸： 過リン酸石灰 加 里： 塩化カリウム、硫酸カリウム 複合肥料：成型有機肥料 ⁷⁾ 、緩効性肥料 ⁸⁾
凝 集 剤	塩化第二鉄液、硫酸アルミニウム

- 1) 石灰30%（商品名：エース番）。
- 2) アコヤ貝から作った動物石灰、アルカリ分48%（商品名：パールシェル）。
- 3) ケイ酸22%、アルカリ分37%、<溶性苦土8%、鉄13%。
- 4) ケイ酸23%、アルカリ分34%、<溶性苦土3%、鉄23%。
- 5) <溶性苦土3%、鉄2%、腐植酸50%。
- 6) 透水性、通気性の向上、有機高分子、ゼオライト含。
- 7) N:2.1%、P:0.6%、K:1.2%（商品名：えひめ南水稻有機100）。
- 8) N:6.0%、P:6.0%、K:6.0%（商品名：セラコートR555）。

トの含量が高かった(表2)。

3.2 現地供試資材の選定

振とう24時間後の上澄み液のSS濃度を測定したところ、資材を添加することで、尿素処理区を除き無処理区に比べ明らかにSS濃度は低くなった。すなわち、土壌改良材の硫酸カルシウム、硫酸マグネシウム、肥料の塩安、硫酸アンモニウム、過リン酸石灰、塩化カリウム、硫酸カリウムの各処理区のSS濃度は、凝集剤(塩化第二鉄液や硫酸アルミニウム)処理区と同程度に低かった(図1)。

3.3 硫酸マグネシウム添加量試験

表3に振とう24時間後の上澄み液のSS濃度を示した。いずれの試験区もSS濃度は化学肥料未添加区より化学肥料添加区が低く、硫酸マグネシウム0mg区のSS濃度は、化学肥料添加区では化学肥料未添加区の約7分の1に減少した。一方、化学肥料未添加区のSS濃度は、硫酸マグネシウム0mg区に比べ40mg区では約11分の1、60mg区では約40分

の1に減少した。化学肥料添加区の硫酸マグネシウム40mg区のSS濃度は26mg/Lで、それ以上施用してもSS濃度は同程度であった。

3.4 現地圃場の土壌分析結果および施肥設計

可給態リン酸と交換性石灰はほぼ基準値であったが、交換性苦土および交換性加里は基準値の半分程度であった。そのため、交換性苦土の必要成分量は16kg/10aで、交換性加里の必要成分量は12kg/10aとなった(表4)。この結果を基に、施肥設計を以下のとおりとした。土壌改良材として硫酸マグネシウム、窒素は塩安、リン酸は過リン酸石灰、加里は塩化カリウムを選定した。すなわち、対照区では慣行肥料のマップ202を25kg/10a(N=3, P₂O₅=2.5, K₂O=3)施用するのに対し、試験区では硫酸マグネシウム60kg/10a(MgO=15)、塩安12kg/10a(N=3)、過リン酸石灰15kg/10a(P₂O₅=2.5)、塩化カリウム20kg/10a(K₂O=12)の施用とした。

表2 水田土壌の粒径組成と土性

	粘土	シルト	細砂	粗砂	土性
宇和島市内の水田土壌	33%	31%	26%	10%	LiC
松山市内の水田土壌	11%	9%	30%	50%	SL

2009年5月に宇和島市三間町の水田と愛媛県農林水産研究所内(松山市)の水田から土壌を採取した。
粒径組成はビベット法で測定。

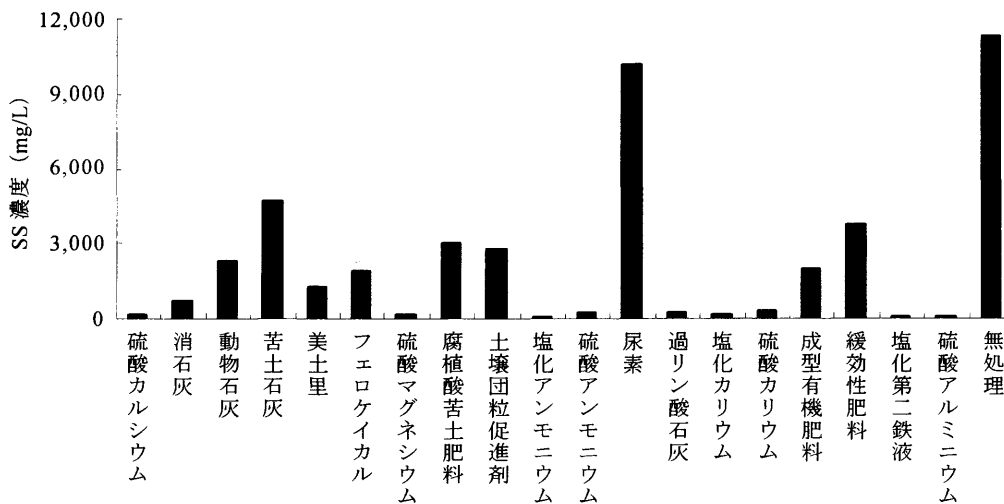


図1 各種資材添加による上澄み液中のSS濃度

宇和島市三間町の水田土壌10gに各供試資材を20mg添加。
純水40ml加え、振とう24時間後の上澄み液中のSS濃度。

表3 硫酸マグネシウムと化学肥料の添加に伴う上澄み液中のSS濃度 (mg/L)

	硫酸マグネシウム添加量 (mg/100g)					
	0	20	40	60	100	200
化学肥料添加区	341	80	26	28	18	20
化学肥料未添加区	2220	833	195	56	24	21

宇和島市三間町の水田土壌100gに硫酸マグネシウムと化学肥料(塩安, 過リン酸石灰, 塩化カリウム)を各15mg添加。水道水を加え, 振とう24時間後の上澄み液中のSS濃度。

表4 現地圃場の土壌分析結果

	pH (H ₂ O)	EC (ms/cm)	可給態 リン酸	交換性塩基 (mg/100g)		
				石灰	苦土	加里
試験圃場	5.4	0.03	11	99	14	13
対照圃場	6	0.04	20	186	15	14
基準値			10-80	100-170	30-50	25-40
必要成分量					16	12

2010年5月に水田土壌を採取。

基準値は, 愛媛県土壌診断評価指標(愛媛県農林水産部技術指導課, 1995)を参考にした。必要成分量は10a当たりに必要なkg量。

3.5 現地試験

代かき1日後の田面水のSS濃度は, 対照区で226mg/Lに対して, 試験区で43mg/L(対照区の約1/5)であり, この時の透視度は対照区が5cm, 試験区は20cm(対照区の約4倍)であった(図2)。

田面水のpH, EC, 全窒素の推移を図3に示した。pHは試験区も対照区もほぼ同じ値で推移し, ECは試験区のほうが期間を通じて高く推移した。試験区の全窒素は, 代かき直後から田植え直後にかけて10~20mg/Lで推移し, 対照区の1.3~1.7倍高かった。田植え1日後は入水の影響でいずれの区も2.5mg/Lに低下した。

生育調査では草丈, 茎数に区間差はなかった(表5)。全重, もみ重, わら重はいずれも試験区が高く, 精玄米重は, 対照区が463kg/10aに対して, 試験区が508kg/10aであったことから, 試験区の収量は10%増加した(表6)。収量に及ぼす要因は, 穂数では, 試験区と対照区は同程度で, 試験区の登熟歩合は87%となり対照区よりも4ポイント低かった。しかし, 対照区に比べて試験区の1穂粒数は82粒と14%多くなり, 単位面積当たりの粒数では28,000粒/m²と16%多くなった。

3.6 コスト試算

10a当たりのコストは, 対照区のマップ202は1,940円となった。試験区では硫酸マグネシウムは4,820円, 化成肥料は3,030円(塩安730円, 過リン酸石灰1,100円, 塩化カリウム1,200円)で合計7,850円となった。

4. 考察

水田および畑土壌生産性分級図(広見川流域地域)によると, 三間川流域の土壌は細粒質灰色化低地水田土に分類されている(愛媛県農業試験場, 1971)。今回の粒径組成調査でも三間川流域の土壌粒子は細粒質であることが確認され, 田面水中に攪拌された土壌粒子は沈殿しにくい傾向を示すことが考えられる。

資材を使った田面水の濁度軽減効果は石膏(硫酸カルシウム), ケイ酸石灰について報告されている(赤江, 1994; 大野ら, 2006; 駒井ら, 2004)。これらの報告を参考にして前年の2009年に予備試験を行った。すなわち, 硫酸カルシウム(商品名: エス一番)を現地水田に200kg/10a施用したところ, 田面水のSS濃度は対照区よりも著しく低下し, 濁度軽減効果を確認することができた(データ省略)。しかし, 現地水田の土壌分析を行ったところ, 土壌中の交換性苦土と交換性加里は不足しているが, 交換性石灰は基準値と同等かそれ以上であり, 石灰は不必要な肥料成分となっていた。また, 硫酸カルシウムのコストは10a当たり12,600円と試算されることから, 米価が低迷する現在では大きな負担を強いることになる。そこで, 土壌診断に基づき, 不足している肥料成分を補う土壌改良材と化成肥料を施用した上で, 濁度軽減効果が得られることを明らかにした。

原田ら(2006)はECが上昇することで土壌粒子が凝集, 沈降しやすくなりSS濃度が低下すること

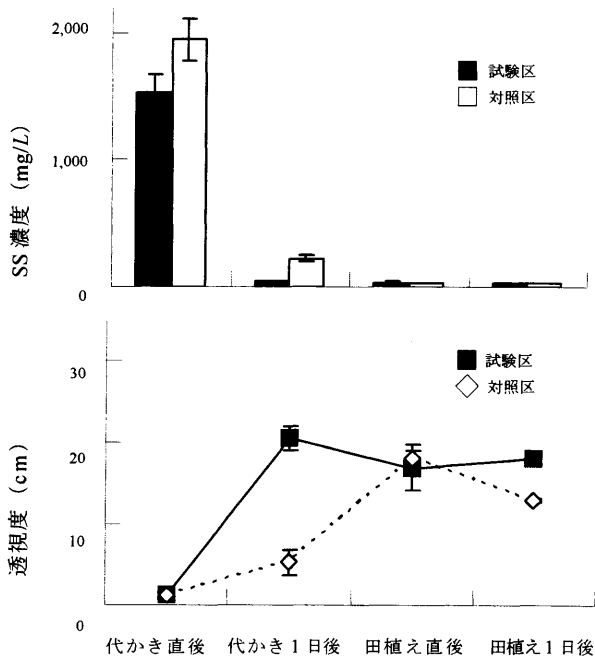


図2 土壌改良材を施用した田面水のSS濃度と透視度の推移

田面水は水口、中央、水尻の3カ所を2反復ずつ500ml採取した。採取日は代かき直後(5月13日)、代かき1日後(5月14日)、田植え直前(5月16日)、田植え1日後(5月17日)。縦線は標準誤差を示す(n=6)。

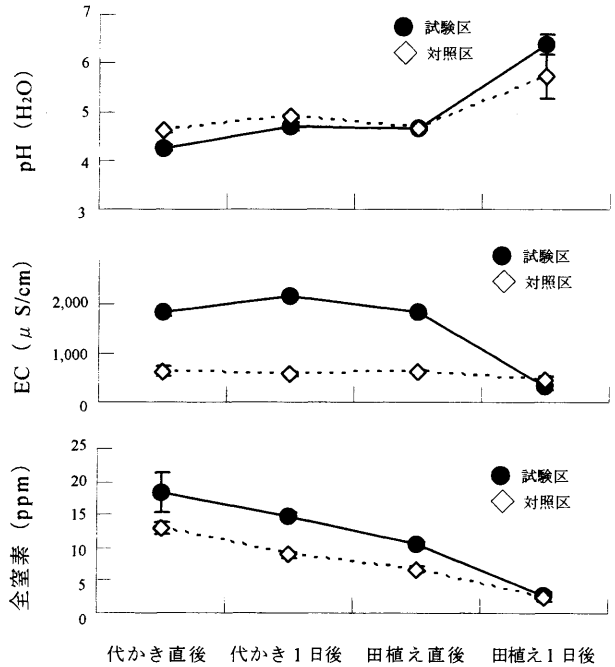


図3 土壌改良材を施用した田面水のpH, EC, 全窒素の推移

pH, ECは採取後ただちに現地にて測定。全窒素は研究所内で分析。縦線は標準誤差を示す(n=6)。

表5 土壌改良材を施用した試験水田における水稻の生育

	7月2日			8月30日
	草丈 (cm)	茎数 (本/株)	葉色 (SPAD)	茎数 (本/株)
試験区	70.4	26.2	42.2	25.3
対照区	69.4	27.3	40.1	25.6

表6 土壌改良材を施用した試験水田における水稻の収量および収量構成要素

	全重	もみ重	わら重	精玄米重	穂数	1穂粒数	m ² あたり粒数	登熟歩合
					本/m ²	粒	粒	%
試験区	1,348	627	721	508 (110)	346	82	28,000	87
対照区	1,167	570	597	463 (100)	343	72	24,000	91

品種「あきたこまち」。

8月30日に収穫。栽植密度はm²あたり13.6株。重量はkg/10a。

精玄米重は1.8mmのふるいで調整後、水分補正。

()内は対照区に対する収量割合。

を報告している。本試験においても、土壌改良材や化成肥料由来の硫化物イオンや塩化物イオンによる影響で田面水のECが高まり、SS濃度が低下したものと推察した。

田面水の全窒素は対照区よりも試験区が高く、マップ202よりも塩安のほうが田面水中に無機態窒素が多く溶出していたが(データ省略)、試験区は対照区と同等の生育であったことから、施肥窒素の効果には差がなかったと考えられた。ところで、水稻の生育経過において、カリウムの施用は1穂粒数の確保に効果的であり、収量向上には欠か

せない成分とされている(清野, 1994)。また、マグネシウムの施用は1穂粒数や千粒重の増加に好結果をもたらすことが既に報告されている(木内ら, 1961)。今回の試験では、土壌中の不足肥料成分である交換性苦土と交換性加里を補ったことで総粒数は対照区に比べて多くなり、収量の10%増加につながったものと推測した。

現地試験で使用した土壌改良材は10a当たり60kg、必要経費は4,820円であった。2.3の試験から、硫酸マグネシウムを40kg/10a以上施用してもSS濃度はほぼ同じであったことから、濁度軽減対

策としては、硫酸マグネシウムの施用量は40kg/10a程度で十分であり、土壤改良材に要する経費は3,340円/10aまで削減できるものと考えられた。

農業濁水の軽減対策については、2009年に本県南予地方局を中心に広見川等農業排水対策協議会が設立され、浅水代かきと止水板設置等の基本技術の励行で水田からの濁水流出を抑えられることが実証されている。これらの技術と本試験の成果を組み合わせ、濁水対策に取り組むことが望ましい。しかし、濁水対策を行うことで作業時間やコスト増加につながることは軽視できない。そこで、行政的な支援や生産者のコスト負担を軽減する制度作りが必要と考えられる。環境に配慮した米生産の事例として、兵庫県豊岡市JAたじまでの「コウノトリの郷米」や宮城県「みやぎ環境保全米」などが知られている。当地では、稲作生産者の労力負担や減収分を価格に反映させ、消費者に理解と協力を求める形で販売価格を一般よりも高く設定している。鬼北地域は古くから米どころとして知られ、おいしい「三間米」は県内で高い知名度を得ている。将来的には、濁水対策に取り組んだ水田の米を環境に配慮した新たな高付加価値米として販売し、四万十川の環境保全活動に賛同する支援者・消費者が購入できる制度作りを提案したい。清流四万十川、三間川の景観を消費者と生産者が共同で保全し支え合う活動が展開されることを切望する。

謝辞：試験の実施にあたり、ご協力いただいた現地の実証圃農家並びに本県南予地方局産業振興課の関係各位に感謝の意を表す。

引用文献

赤江剛夫（1992）：代掻き濁水の凝集沈降剤の検索

と施用法の検討—代掻き濁水のカルシウム塩添加による凝集沈降浄化法（2）—，土壤の物理性，64，45-52。

赤江剛夫（1994）：現地試験による石膏の代掻き濁水浄化効果の検討—代掻き濁水のカルシウム塩添加による凝集沈降浄化法（3）—，土壤の物理性，69，3-10。

愛媛県農業試験場（1971）：水田および畑土壌生産性分級図（愛媛県広見川流域地域）。

愛媛県農林水産部技術指導課（1995）：土壤・作物体診断マニュアル，調査・評価編，p62-63。

原田久富美，太田健・進藤勇人，小林ひとみ（2006）：水稻移植前落水時の湛水深を60mm以下にすると水質汚濁負荷が半減する，秋田県農業試験場研究時報，45，27-28。

清野 馨（1994）：イネの施肥技術，農業技術体系 土壤施肥編6-①，施肥の原理と施肥技術，1-66。

木内知美，石坂英男（1961）：水稻の収量形成過程に及ぼす栄養条件の影響（苦土・マンガン），土肥誌，32，295-299。

駒井佐知子，水谷智，小林敏正，太田喜信，岡本将宏，柴原藤善（2004）：石膏資材施用による水稻代かき時期の農業濁水発生軽減，平成16年度近畿中国四国農業研究成果情報，151-152。

大野智史，八木麻子，田村美佳（2006）：ケイ酸石灰施用による代かき濁水由来の水質汚濁の低減，平成18年度関東東海北陸農業研究成果情報・北陸・生産環境，共通基盤・土壤肥料，644-645。

横田仁子・大森誉紀（2010）：土壤診断に基づいた土壤改良材の施用による田面水の清水化と水稻の収量性，日作四国支報，10-11。

財団法人日本土壤協会（2001）：土壤機能モニタリング調査のための土壤，水質及び植物体分析法。

Abstract

Recently, water pollution from paddy fields has become an environmental problem in the Mima river, a tributary of the Shimanto river. A soil conditioner (e.g. magnesium sulfate) and chemical fertilizers, both selected based on diagnosis of the soil nutrient status, were applied to paddy fields either before puddling and transplanting. One day after puddling or transplanting, the suspensoid density of the water decreased in the treated paddy field, compared with that of a paddy field under normal cultivation practices. Moreover, the soil conditioner had a positive effect on rice yield compared with the normal cultivation plot. The cost of the soil conditioner was 4,820 yen /10a.