

## 山梨県総合理工学研究機構 研究成果報告書

研究課題名	山梨の自然環境を活かした水稻高品質栽培法の開発
研究期間	令和3年～令和5年度(3 カ年)
研究者	高橋真史、山崎修平、佐々木裕也、上野直也、石井利幸、馬場久美子、望月寛徳
キーワード	水稻、ケイ酸、土壌、灌漑水、PB法、施肥基準

### 1. 研究成果の概要:

山梨県内の水田への灌漑水や水田土壌に含まれるケイ酸含量を分析した。灌漑水中のケイ酸含量は、火山性地質の河川から取水している水田で高く、非火山性地質の河川から取水している水田で低い傾向であった。水田土壌の可給態ケイ酸含量は、火山灰土の水田で高く、非火山灰土の水田で低い傾向を確認した。

また、県内に流通するケイ酸資材を用い、水稻の収量・玄米外観品質へ与える効果について比較、検討を行った。有効と確認されたケイ酸資材を用いてケイ酸含量が低い水田で栽培実証を行ったところ、増収効果が確認できた。さらに、高温条件下において、玄米外観品質を改善する効果があることを明らかにした。

以上の結果を踏まえ、県内における、ケイ酸含量マップを作成するとともに、水稻栽培において生産農家がケイ酸資材の要否を判断できるケイ酸施肥基準値を設定した。

### 2. 研究の目的

本県的水稻は中北地域を中心に4,890ha 作付けられており、県全体耕地面積の約20%を占める基幹作物の一つとなっている。特に中北地域産的水稻は、他県に比べて単位面積あたりの収量や玄米外観品質が優れており、食味に関しても高い評価を得ている。しかし、近年は米の食味ランキング(穀物検定協会)で連続して最高ランク(特A)を逃し、産地からはブランド力強化のために高品質、良食味米生産技術の開発を強く要望されている。さらに出穂期以降の高温等によって胴割粒や白未熟粒が多発し、玄米外観品質の低下も懸念されている。

このような中、ケイ酸の施用が高温障害(胴割粒、白未熟粒)の発生低減に有効であるとの報告があり、米生産者やJA関係者からの注目が集まっている。水稻はケイ酸を多量に吸収する特異的な作物であり、吸収量が不足すると病害虫に対する抵抗性の低下、光合成能の低下など生育不良となる事例が報告されている。ケイ酸は土壌からの可溶化による供給が全体の約70%を占めているが、農業用水からの供給量も少なくないと推定されている。

一方、近年は河川からの天然供給量や施肥による補給量の低下により、ケイ酸供給量の減少が指摘されている。また土壌や農業用水中のケイ酸含量は土壌の母材が影響しているため、地域ごとに実態を把握する必要があるが、現状の県内の農業用水中のケイ酸含量についての知見はない。

そこで、本研究では県内の水稻産地における農業用水や土壌からの養分供給量を把握し、ケイ酸などの天然供給量を考慮した上での水稻高品質、安定生産技術を確立することを目的とする。

3. 研究課題

3-1 実験(1) 灌漑水中ケイ酸含量の実態把握

3-1-1 実験方法

県内水稻産地を中心に農業用水路もしくは圃場灌漑水から分析用サンプルを採水した。採水した試料は 0.45 μm メンブランフィルターでろ過し、ろ液を検液とした。溶存ケイ酸の分析はモリブデン黄吸光度法を用いて行った。

3-1-2 実験結果

山梨県内 24 箇所における灌漑水中のケイ酸濃度を調査した結果を表1、図1に示す。北杜市内を流れる釜無川の右岸側の地点に比べ、左岸側の大泉村谷戸1、大泉村谷戸2、小淵沢町上笹尾はそれぞれ 35.4, 36.1, 40.3 mg/L と高濃度であった。これらはケイ酸濃度が高いことが報告されており、火山性地質である八ヶ岳湧水群の水による影響であると推測された。この他にも甲斐市や富士吉田市内における地点でも比較的高い濃度であることが確認されたが、明確な理由については不明であった。全 24 地点のうち、全国河川の溶存ケイ酸濃度の平均値と言われている 20 mg/L 以上の地点数は 14 という結果であった。

表1 山梨県における灌漑水中溶存ケイ酸濃度

地点名	ケイ酸濃度	地点名	ケイ酸濃度
武川1	16.4	忍野村内野	6.2
武川2	21.6	富士吉田市上吉田1	35.0
北杜市白州町大坊	11.0	富士吉田市上吉田2	34.8
北杜市白州町白須	10.1	市川三郷町大塚	17.8
北杜市小淵沢町上笹尾	40.3	身延町切房木	19.8
北杜市大泉村谷戸1	35.4	身延町常葉	13.5
北杜市大泉村谷戸2	36.1	武川町宮脇	18.0
韮崎市穂坂町三ツ沢1	20.0	敷島町島上條	34.6
韮崎市穂坂町三ツ沢2	15.3	甲斐市富竹新田	25.8
上野原市上野原	16.6	甲府市東下条	24.7
上野原市秋山	21.7	甲府市中道下曾根	20.2
都留市禾生	30.7	南アルプス市藤田	20.9

(mg/L)

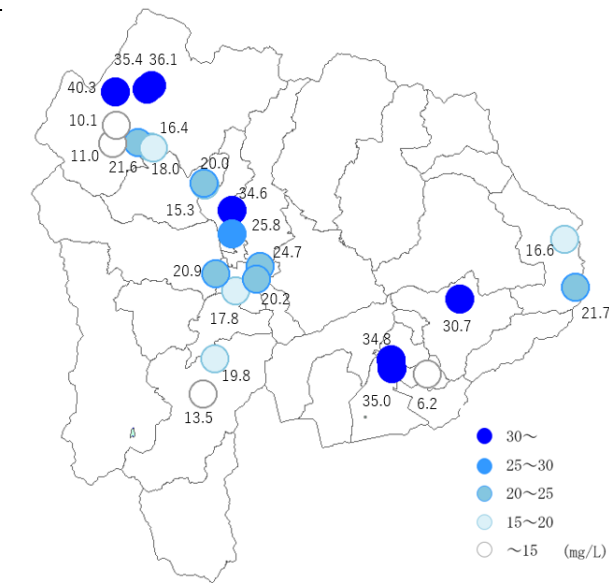


図1 山梨県における灌漑水中溶存ケイ酸濃度

### 3-2 実験(2) 水田土壌中可給態ケイ酸含量の実態把握

#### 3-2-1 実験方法

水田土壌中の可給態ケイ酸濃度の実態を明らかにするため、山梨県総合農業技術センターにおいて長期モニタリングを行っている水田ほ場について土壌を採取し分析に供した。また、過去採取した保存サンプルについても一部分析に供した。さらに山梨県農業共済組合において農業共済加入者を対象とした土壌分析を行ったサンプルについて提供を受け分析に供した。総サンプル数はのべ512点(同一地点でも採取年が異なる場合はそれぞれ1点とした)であった。

可給態ケイ酸の分析については茂角らの方法(以下:中性PB法)で行った。すなわち、0.02Mリン酸緩衝液( $\text{NaH}_2\text{PO}_4:\text{Na}_2\text{HPO}_4=50:50$ , pH6.9~7.0)を抽出液とし、土壌2gに対して抽出液20mLを加え40℃に設定した水槽で5時間抽出した。抽出開始から0、30、60、120、180、240、300分後の7回、振とう管を横にして左右に10往復振とうした。

#### 3-2-2 実験結果

土壌採取地点について農研機構日本土壌インベントリーのe-土壌図により包括的土壌分類第1次試案で土壌を分類した。土壌分類別サンプル数と平均可給態ケイ酸濃度は表2の通りであった。

表2 土壌採取地点の土壌分類、サンプル数および平均可給態ケイ酸濃度

	土壌分類	サンプル数	平均可給態ケイ酸濃度 (mg/100g)
低地土	未熟低地土	32	11.7
	灰色低地土	15	10.9
	グライ低地土	23	8.2
	低地水田土	17	28.0
	褐色低地土	13	23.8
火山灰土	火山放出物未熟土	56	27.3
	アロフェン質黒ボク土	284	26.9
	多湿黒ボク土	26	29.1
	非アロフェン質黒ボク土	2	7.0
森林土	褐色森林土	44	16.9
	全体	512	23.8

可給態ケイ酸濃度は火山灰土壌で高い傾向を示し、低地土等で低い傾向を示した。火山灰を構成する主要成分は火山ガラスで風化が進むにつれケイ酸を放出するため、火山灰土壌でケイ酸含量が高くなることが知られている。しかしながら火山灰土壌の中でも非アロフェン質黒ボク土では可給態ケイ酸濃度が低いことが示されたが、これについても先行事例で同様の傾向が示されている。非アロフェン質黒ボク土は、大陸からの風成塵や火山灰以外の母材の再堆積の影響を受けて形成されることが、ケイ酸供給能の差となって現れたものと判断できる。

一方、低地土の中の低地水田土および褐色低地土において平均可給態ケイ酸濃度が高い傾向が示されたが、これは一部高濃度の地点があったためであり、栽培管理の影響を受けたことによるものと推察された。

### 3-3 実験(3) ケイ酸質肥料の違いが水稻の収量、品質へ及ぼす影響

#### 3-3-1 実験方法

市販されているケイ酸質肥料の効果比較を行うため、同じ施肥条件における玄米収量、品質の比較を行った。試験は 2022 年に総合農業技術センター内圃場(灰色低地土、前作水稻)において実施した。移植日は5月12日とし、供試品種は「コシヒカリ」とした。試験規模は22.5 m<sup>2</sup>/区、2反復とした。供試資材は県内での流通量が多い「ケイカル」、「農力アップ」、「とれ太郎」、「ケイ酸加里」を用いた。施用時期は出穂約40日間となる6月28日に追肥として表面施肥を行った。試験区は前述の資材を用いた4試験区に加え無施用区を設けた。ケイ酸成分は全ての資材で40kg/10aとなるよう調整して施用した。ケイ酸質肥料を施用する前の土壌化学性を把握するため、土壌分析を実施した。一般成分については「土壌機能モニタリング調査のための土壌、水質及び植物体分析法」(日本土壌協会編)に準じて行い、可給態ケイ酸の分析は中性PB法で行った。基肥はN-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>Oとして成分量3-3-3(kg/10a)とし、穂肥は施用しなかった。玄米収量は成熟期に3.24 m<sup>2</sup>を坪刈り後、1.8mm 網目のグレーダーを用い、調整後の精玄米を玄米収量とした。玄米外観品質は、穀粒判別器(サタケ社製 RGQI20A)を用いて整粒率を調査した。

#### 3-3-2-1 実験結果 試験圃場の土壌化学性

試験圃場の土壌化学性について表3に示す。可給態ケイ酸は県内における平均値より極端に低い濃度であり、ケイ酸質肥料の効果が期待できる土壌条件であった。

表3 試験圃場の土壌分析結果

pH (H2O)	EC (mS/cm)	P2O5 (mg/100g)	CaO (mg/100g)	MgO (mg/100g)	K2O (mg/100g)	NH4-N (mg/100g)	NO3-N (mg/100g)	SiO2 (mg/100g)
6.4	0.33	93.3	134.1	18.9	12.2	0.24	0.06	3.1

#### 3-3-2-2 実験結果 ケイ酸質肥料の検討

玄米収量はいずれのケイ酸質肥料の施用においても無施用区を上回った。資材別では「ケイカル」の増収効果がやや高かった。整粒率についても同様の傾向となり、いずれのケイ酸質肥料でも無施用区を上回り、「ケイカル」による品質改善効果がやや高くなった。

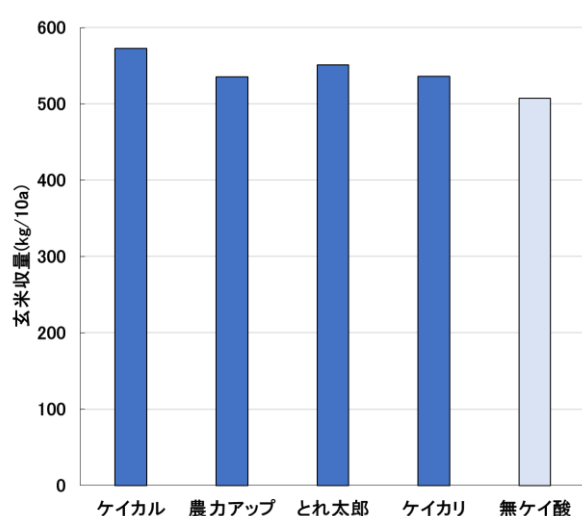


図2 資材の違いによる玄米収量への影響

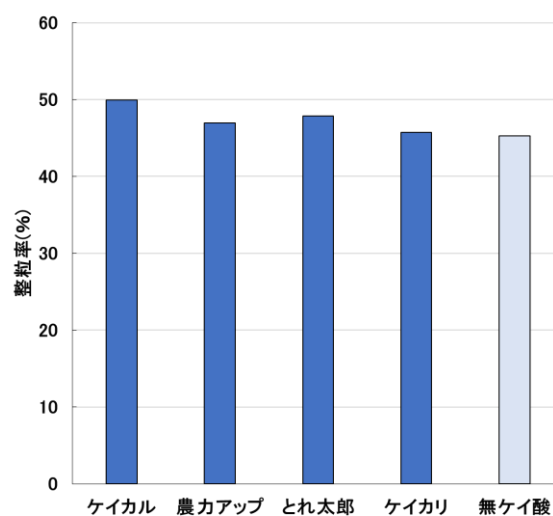


図3 資材の違いによる整粒率への影響

3-4 実験(4) 低ケイ酸圃場におけるケイ酸の施肥量、施用時期の違いが水稻の生育へ及ぼす影響

3-4-1 実験方法

2023年に甲斐市総合農業技術センター本所圃場(315m 以下圃場A)、北杜市武川町現地圃場(標高483m 以下圃場B)、甲斐市敷島町現地圃場(標高318m 以下圃場C)、の3か所で実施した。圃場Aの供試品種は「農林48号」とし、移植は5月11日に行った。基肥はN-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>Oとし、成分量4-4-4(kg/10a)を施用した。圃場Bの供試品種は「農林48号」とし、移植は6月18日に行った。基肥は現地生産農家慣行に従いN-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>Oとし、成分量4.3-3-1.5(kg/10a)を施用した。圃場Cの供試品種は「コシヒカリ」とし、移植は5月27日に行った。基肥は現地生産農家慣行に従いN-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>Oとし、成分量4-8-6(kg/10a)を施用した。いずれの圃場も移植方法は株間18cm、条間30cmの18.5株/m<sup>2</sup>、稚苗機械移植とし、窒素肥料の追肥は行わなかった。土壌中可給態ケイ酸含量は中性PB方法により、灌漑水中ケイ酸含量はモリブデン黄吸光度法で分析した。気温は農研機構メッシュ気象データを用い、各圃場の平均気温を算出した。ケイ酸質肥料として、「ケイカル」(可溶性ケイ酸含量30%)を用いた。試験区は、ケイ酸成分量で10kg、20kg、30kg/10aの3水準、施用時期で基肥と追肥(出穂30~40日前)の2水準及び無施用区を設けた。反復数は圃場Aは3反復、圃場B、Cは2反復とした。なお、いずれの試験圃場も稲わらは圃場外に持ち出し、すき込みは行わなかった。生育期間中の調査として、幼穂形成期、出穂から約7日後及び出穂から約20~25日後を目安に葉色を葉色計(SPAD-502Plus)で10株/区を測定した。収量は成熟期に3.24m<sup>2</sup>を坪刈り後、1.8mm網目のグレーダーを用い、調整後の精玄米を玄米収量とした。登熟歩合は(精玄米数/総籾数)×100にて算出した。玄米外観品質は、穀粒判別器(サタケ社製RGQ120A)を用いて整粒率、胴割粒、白未熟粒(基部未熟、乳白粒及び腹白粒)、青未熟粒、その他未熟粒、その他被害粒について調査した。玄米タンパク質含有率は米粒食味計(サタケ社製RLTA10B)で精玄米を測定した。

3-4-2-1 実験結果 土壌中可給態ケイ酸含量及び試験圃場の気象条件

水稻が吸収するケイ酸は土壌由来が7割超と吸収量の大部分を占めることが知られており、土壌中可給態ケイ酸含量に着目する必要がある。中性PB法による土壌中可給態ケイ酸含量の分析値が30mg/100gを超えるようなケイ酸を多く含む圃場ではケイ酸質肥料の施用効果が判然としなかったが、15mg/100gを下回る圃場では収量の増加が報告されている。試験圃場の土壌中可給態ケイ酸含量は、いずれも15mg/100gを下回っており、ケイ酸の効果発現が期待できる条件であった。次に試験圃場の出穂後の気象条件を表5に示した。玄米の外観品質は出穂後の平均気温の平均値が26~27℃以上となると白未熟粒が多発し、整粒比率が低下することが報告されている。試験圃場A、Cでは平均気温が26℃を超える高温となり高温障害が発生しやすい条件であったが、試験圃場Bでは極端な高温条件とはならなかった。

表4 試験圃場のケイ酸含量

場所	項目 土壌分類	土壌ケイ酸含量	灌漑水ケイ酸含量
		(mg/100g)	(mg/L)
圃場A	灰色低地土	13.7	31.4
圃場B	未熟低地土	14.5	18.0
圃場C	灰色低地土	12.9	34.6
県内平均		38.1	23.1

- 1) 土壌ケイ酸含量はPB法、灌漑水中ケイ酸含量はモリブデン黄法で測定  
2) 土壌の平均値はR3年に峡北地域55カ所を測定した値の平均  
3) 灌漑水の平均値はR3~5年に県内25カ所を測定した値の平均

表5 試験圃場における気象条件

場所	日平均気温の平均	
	登熟期間	出穂後20日間
(°C)		
圃場A	26.8	26.9
圃場B	24.0	25.2
圃場C	27.5	27.4

- 1) 登熟期間は出穂期~成熟期  
2) 気温データは農研機構メッシュ気象システムから算出

### 3-4-2-2 実験結果 生育期間中の葉色の推移

各圃場における幼穂形成期から出穂 20～25 日後の葉色の推移を図 4～6 に示した。幼穂形成期以降の葉色はケイ酸質肥料の施用により濃く推移し、基肥、追肥ともにケイ酸成分量で 30kg/10a 施用することで登熟期間中を通して無施用区より濃く推移する傾向となった。

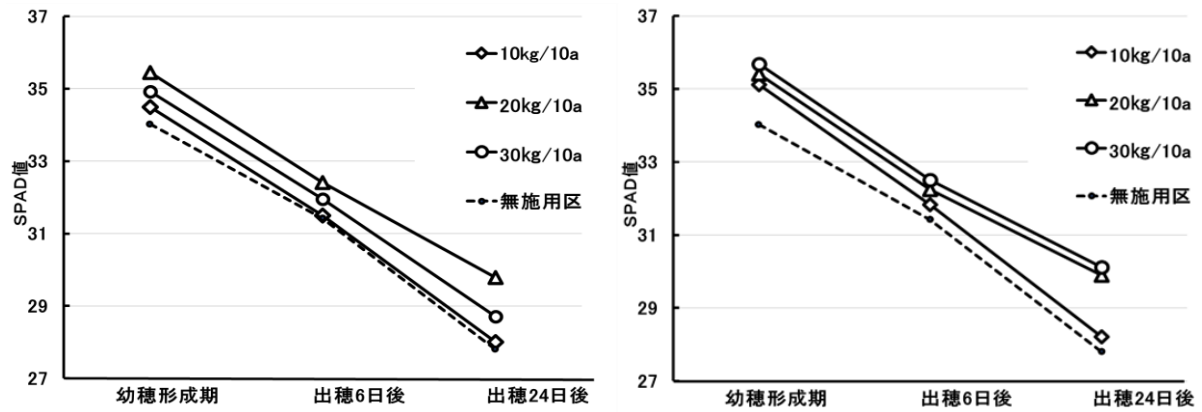


図4 施用時期の違いによる葉色の推移(圃場 A 左:基肥 右:追肥)

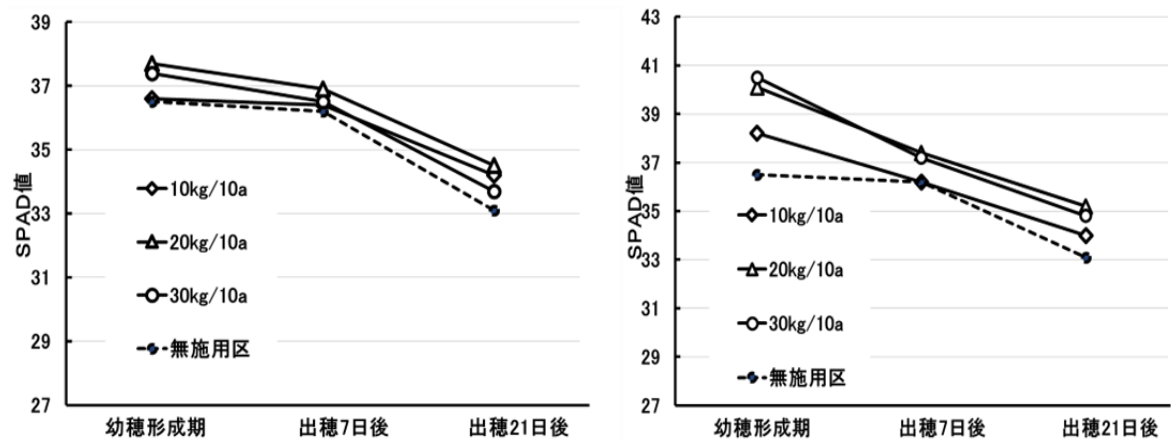


図5 施用時期の違いによる葉色の推移(圃場 B 左:基肥 右:追肥)

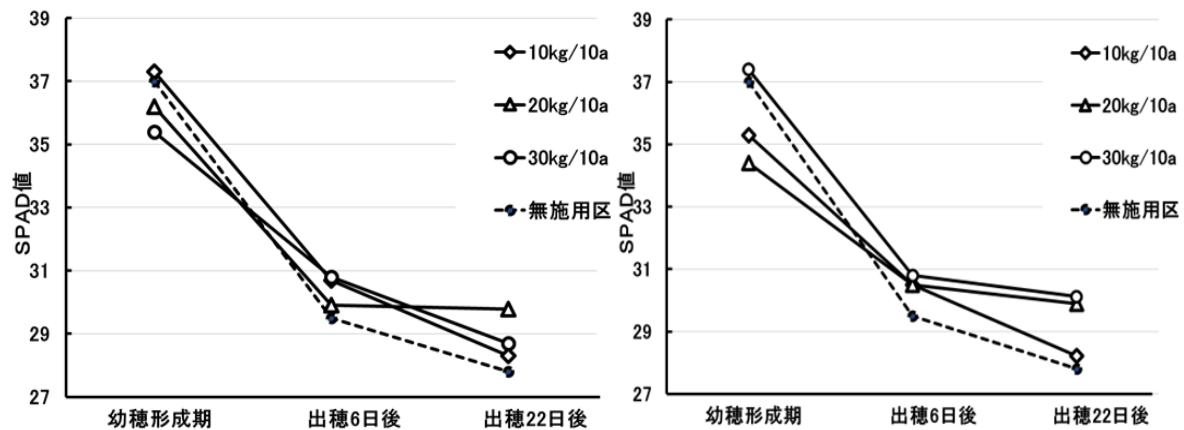


図6 施用時期の違いによる葉色の推移(圃場 C 左:基肥 右:追肥)

### 3-4-2-3 実験結果 玄米収量及び収量構成要素への影響

圃場の試験区毎の玄米収量及び収量構成要素を表 6、7 に示した。玄米収量について、品種別にみると、「農林 48 号」では基肥の場合はケイ酸成分量で 30kg/10a、追肥の場合は 10kg/10a 以上施用することで収量は増加した。その要因として、主に総粒数増加の影響が大きいと考えられた。追肥の施用では、粒数が増加した分登熟歩合が低下する傾向が認められた。千粒重は、施用による一定の傾向は認められなかった。「コシヒカリ」では追肥で 30kg/10a の施用で総粒数の増加により収量は増加したものの、その他の試験区では無施用区と差は無く、ケイ酸施用による増収効果については品種間差が見られた。

表6 基肥でケイ酸を施用した場合の玄米収量と収量構成要素

試験場所	品種	ケイ酸成分量 (kg/10a)	玄米収量 (kg/10a)	穂数 (本/㎡)	1穂粒数 (粒/本)	総粒数 (粒/㎡)	千粒重	登熟歩合 (%)
A	農林48号	10	559	347	78.9	27,383	22.6	90.3
		20	580	349	81.0	28,281	22.6	90.9
		30	582	360	79.5	28,616	22.5	90.3
		0	558	334	84.2	28,136	22.3	89.1
B	農林48号	10	545	320	85.6	27,383	23.2	90.3
		20	524	316	89.5	28,281	23.3	90.9
		30	547	308	92.9	28,616	23.4	90.3
		0	538	314	89.6	28,136	23.0	89.1
C	コシヒカリ	10	461	348	70.1	24,379	21.8	86.8
		20	466	336	73.2	24,594	21.9	86.5
		30	468	341	72.4	24,700	21.9	86.6
		0	465	344	70.8	24,340	21.7	88.0

表7 追肥でケイ酸を施用した場合の玄米収量と収量構成要素

試験場所	品種	ケイ酸成分量 (kg/10a)	玄米収量 (kg/10a)	穂数 (本/㎡)	1穂粒数 (粒/本)	総粒数 (粒/㎡)	千粒重	登熟歩合 (%)
A	農林48号	10	566	342	83.3	28,505	22.2	89.5
		20	587	346	85.2	29,491	22.5	87.4
		30	600	338	91.4	30,891	22.4	86.7
		0	558	334	84.2	28,136	22.3	89.1
B	農林48号	10	557	314	90.8	28,505	22.9	89.5
		20	574	339	91.1	30,891	23.2	86.7
		30	594	336	88.4	29,691	23.2	86.4
		0	538	314	89.6	28,136	23.0	89.1
C	コシヒカリ	10	458	323	75.7	24,445	21.7	86.6
		20	474	351	71.8	25,212	21.7	86.5
		30	524	346	81.9	28,324	21.9	84.4
		0	465	344	70.8	24,340	21.7	88.0

### 3-4-2-4 実験結果 玄米外観品質及びタンパク質含有率への影響

次に試験区毎の玄米外観品質を表8、9に示した。出穂後20日間の平均気温が26℃を超える高温条件となった圃場A、Cでは、基肥の場合はケイ酸成分量で30kg/10a、追肥の場合は10kg/10a以上施用することで整粒率が向上した。項目別では、圃場Aでは乳白粒が、圃場Cでは基部未熟粒やその他未熟粒が低くなる傾向となった。なお、タンパク質含有率については、いずれの圃場もケイ酸施用による明確な差は確認できなかった。

表8 基肥でケイ酸を施用した場合の玄米外観品質及びタンパク質含有率

試験場所	品種	ケイ酸成分量 (kg/10a)	整粒率	胴割粒	乳白粒	基部未熟粒	背腹白粒	青未熟粒	その他未熟粒	その他被害粒	タンパク質含有率
(%)											
A	農林48号	10	30.0	2.8	14.5	13.1	12.6	0.0	11.6	11.9	6.4
		20	33.8	2.6	16.2	12.6	10.4	0.0	10.5	14.0	6.5
		30	32.7	2.7	15.8	13.3	10.3	0.0	10.6	14.6	6.6
		0	30.7	1.2	19.2	12.8	13.8	0.0	8.6	13.6	6.5
B	農林48号	10	63.0	2.6	6.7	1.9	1.9	2.6	11.4	10.1	7.0
		20	65.7	2.6	5.0	2.4	1.3	3.4	12.6	7.1	7.0
		30	71.3	1.9	4.7	1.8	1.2	1.6	9.9	7.8	6.8
		0	68.1	1.3	5.0	2.0	1.3	2.0	11.9	8.6	6.7
C	コシヒカリ	10	55.5	0.3	6.9	14.8	3.6	0.1	15.4	3.6	6.1
		20	55.6	0.6	7.2	14.6	2.6	0.1	14.8	4.7	6.2
		30	62.8	0.5	6.5	12.8	2.5	0.0	10.5	4.6	6.2
		0	58.6	0.4	6.4	13.8	3.5	0.5	12.9	4.1	6.2

表9 追肥でケイ酸を施用した場合の玄米外観品質及びタンパク質含有率

試験場所	品種	ケイ酸成分量 (kg/10a)	整粒率	胴割粒	乳白粒	基部未熟粒	背腹白粒	青未熟粒	その他未熟粒	その他被害粒	タンパク質含有率
(%)											
A	農林48号	10	33.5	1.7	18.7	15.2	12.5	0.0	4.4	13.9	6.3
		20	36.6	2.4	14.6	12.1	11.3	0.0	8.6	14.3	6.4
		30	36.7	2.4	15.9	10.3	10.9	0.0	9.6	14.6	6.4
		0	30.7	1.2	19.2	12.8	13.8	0.0	8.6	13.6	6.5
B	農林48号	10	69.2	1.0	4.2	2.1	1.4	3.4	11.6	7.3	6.8
		20	64.8	1.8	6.1	2.8	0.9	5.5	12.1	6.3	7.0
		30	68.2	2.1	5.5	3.2	1.2	2.6	10.0	7.3	6.7
		0	68.1	1.3	5.0	2.0	1.3	2.0	11.9	8.6	6.7
C	コシヒカリ	10	62.4	0.9	7.0	13.7	3.4	0.0	6.7	6.1	6.0
		20	65.4	0.6	6.3	11.3	4.1	0.2	8.5	3.8	6.1
		30	68.5	0.4	5.5	11.7	2.7	0.1	8.6	2.8	6.1
		0	58.6	0.4	6.4	13.8	3.5	0.5	12.9	4.1	6.2

### 3-5 実験(5) ケイ酸含量のマッピング化、施肥基準の検討

#### 3-5-1 実験方法

水田土壤中の可給態ケイ酸濃度および農業用水中のケイ酸濃度の実測値に加え、山梨県衛生環境研究所の既存データより県内河川のケイ酸濃度値を引用して実測データとした。さらに、土壌分類、河川流



域、河川からの距離、標高、地質等、ケイ酸濃度に影響すると考えられる地理情報を用いて県内土壌および農業用水からの天然供給量予測地図の作成を試みた。データ処理環境はフリーの統計処理言語である「R(Ver.4.4.1)」を用いた。地理情報の操作には ArcGIS(Ver.9.3.1) (ESRI 社:自治体 GIS 利用支援プログラムにより提供)を用いた。

### 3-5-2 実験結果

水田土壌からの可給態ケイ酸天然供給量予測では、山梨県内を 100m メッシュに区切り、国土地理院の土地利用図より水田が分布しているメッシュのみを抜き出し、それぞれのメッシュに可給態ケイ酸濃度の初期値を次の通りあたえた。メッシュ内に実測値が存在する場合はその値を、実測値が複数存在する場合はその平均値をあたえた。メッシュ内に実測値が存在しない場合は、空間補間の手法であるクリギングを利用して周辺の実測値から補完した初期値を与えた。次に機械学習の手法であるランダムフォレストにより、土壌分類、河川流域、河川からの距離、標高、地質の条件から県全域の水田土壌の可給態ケイ酸含量の予測値を求めた。予測値について評価指標を求めたところ、平均絶対誤差 (MAE: Mean Absolute Error) は 3.587、二乗平均平方根誤差 (RMSE) は 5.042、決定係数 (Coefficient of Determination)  $R^2$  は 0.817 であった。

農業用水中からのケイ酸供給量予測では、実測値が河川や水路の場合があるため国土数値情報の流域メッシュデータを用い、同一流域内の実測値が1つの場合はその値を、複数存在する場合はその平均値を初期値として流域全体に与えた。実測値が存在しない流域には土壌と同様に、クリギングで初期値を与えた。その後ランダムフォレスト等機械学習手法での予測モデリングを行ったが、サンプル数が少なかったため、作成したモデルの評価値は低かった。このため、クリギングで補完した数値を採用することとし、土壌と同様に、国土地理院の土地利用図より水田が分布しているメッシュのみを抜き出した。それぞれの予測値は ArcGIS により地図化した。また、農業者および農業指導者向けの情報として、100m メッシュから 500m メッシュにスケールダウンしたマップを作成し、総合農業技術センターホームページ上で公開を開始する予定である。

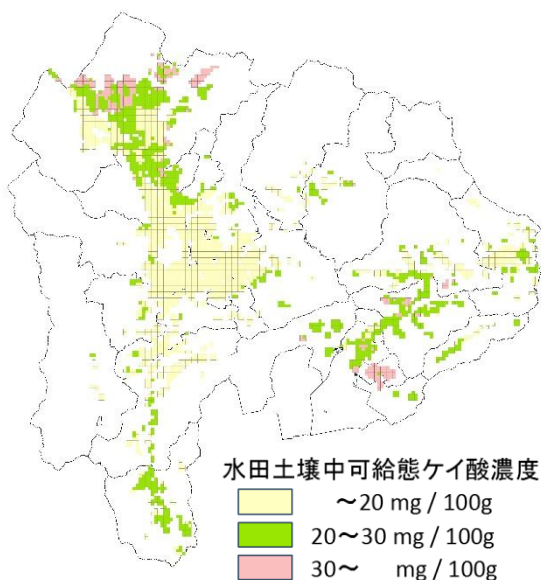


図7 山梨県内水田土壌における  
可給態ケイ酸天然供給量マップ  
(500m メッシュ)

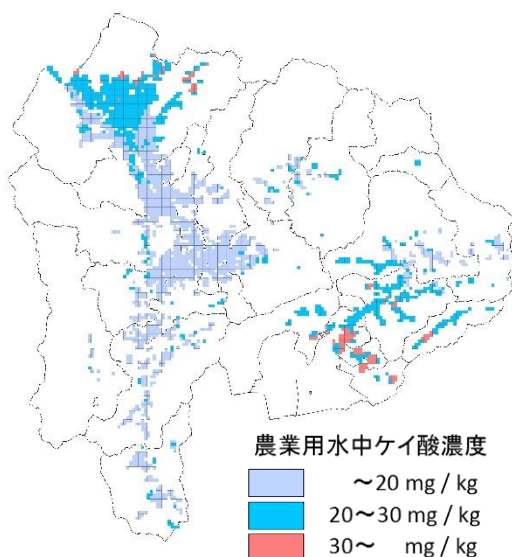


図8 山梨県内水田における農業用水  
からのケイ酸天然供給量マップ  
(500m メッシュ)

ケイ酸天然供給量マップを使用してケイ酸資材の施用の要否を判定するフローを作成した。土壌からの供給量が 30mg/100g 以上か未満か、農業用水からの供給量が 30mg/kg 以上か未満か、稲わらを鋤込む

か持ち出すかによる場合分けを行い、施肥基準として栽培試験を基に設定した基準量のケイカルを施用するべきか、否かを判定することができる。

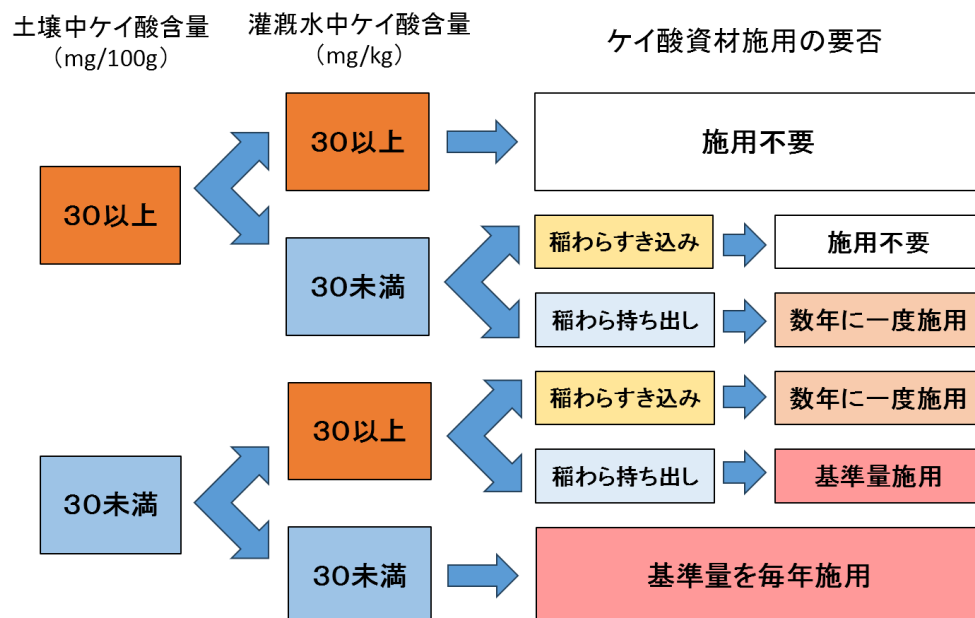


図9 ケイ酸資材施用要否判定フロー

3-2-2 の実験結果より、県内水田土壌の可給態ケイ酸濃度は北杜市の一部や富士吉田市周辺以外のほとんどの地域で 30mg/100g 未満、農業用水のケイ酸含量も 30mg/kg 未満の予測値であったため、ケイ酸資材はケイカルを基肥で 100kg/10a または追肥で 30kg/10a の施用が推奨される結果となった。

#### 4 まとめ

##### □灌漑水のケイ酸含量

●灌漑水中のケイ酸含量は、火山性地質の河川から取水している八ヶ岳南麓地域を中心とした地域で高く、非火山性地質の河川から取水している釜無川右岸地域を中心とした地域で低い傾向であった。

##### □農業用水のケイ酸含量

●水田土壌のケイ酸含量は、火山灰土の水田で高く、非火山灰土の水田で低い傾向を確認した非火山灰土地域でも一部ケイ酸含量が高い地域も存在したが、水稻生産農家の栽培管理による影響を受けたものと推察された。

##### □ケイ酸の施用が水稻の生育、収量、品質へ与える影響

●「農林 48 号」の玄米収量は、基肥の場合はケイ酸成分量で 30 kg/10a, 追肥の場合は 10kg/10a 以上施用することで気象条件に関係なく安定的に増収した。

●整粒率は、出穂後平均気温の平均値が 26℃を超える高温登熟条件において、「コシヒカリ」, 「農林 48 号」いずれの品種も基肥の場合はケイ酸成分量で 30 kg/10a, 追肥の場合は 10kg/10a 以上の施用により向上効果が見られた

##### □ケイ酸含量のマッピング化、施肥基準の策定

●水田土壌からの可給態ケイ酸天然供給量予測値について評価指標を求めたところ、平均絶対誤差 (MAE) は 3.587、二乗平均平方根誤差 (RMSE) は 5.042、決定係数  $R^2$  は 0.817 であった。

- 農業者および農業指導者向けの情報として、100m メッシュから 500m メッシュにスケールダウンしたマップを作成し、総合農業技術センターホームページ上で公開を開始する予定である。

なお、本研究の研究成果を以下の通り発表した。

- ・ 水稻の高温登熟年におけるケイ酸施用による収量・品質への効果(令和 5 年度総合農業技術センター成果情報)
- ・ 水稻高温障害軽減につながるケイ酸施肥のためのケイ酸含量推定マップと施肥判定フロー(令和 6 年度総合農業技術センター成果情報)

#### 参考文献

- 1) 上水試験法 2011 年版: 日本水道協会 (2011)
- 2) 江本勇治: 水田土壌の可給態ケイ酸評価法、農業と科学、第 527 号、1-4(2002)
- 3) 田中達也: 新しい水田土壌の可給態ケイ酸評価法〜「中性 PB 法」の迅速性と有用性、グリーンレポート No.427(2005 年 1 月号): P17(2005)
- 4) 神田隆志、高田裕介、伊勢裕太、森下瑞貴、武久邦彦、蓮川博之、前島勇治: 機械学習を用いた土壌群単位の大縮尺農耕地土壌図の試作—多地点土壌断面調査結果と地形および人為影響を含めた特徴量による学習—、日本土壌肥料科学雑誌、第 94 巻、第 2 号、95~105(2023)
- 5) 今泉吉郎・吉田昌一: 水田土壌の珪酸含量及び珪化細胞形成に及ぼす肥料三要素の影響、東技研報、8:P261-304(1958)
- 6) 住田弘一: 寒冷地水田における土壌のケイ酸供給力と水稻のケイ酸吸収特性、東北農試研報、85:P1-46(1992)
- 7) 松森信・郡司掛則昭: 水田のケイ酸供給能に基づく水稻に対するケイ酸質資材施用の要否判定、熊本農研セ研報、17:P9-17(2009)
- 8) 松森信、郡司掛則昭: 水田のケイ酸供給能に基づく水稻に対するケイ酸質資材施用の要否判定、熊本県農業研究センター研究報告、第 17 号、9-17(2009)
- 9) 寺島一夫・齋藤祐幸・酒井長雄・渡部富男・尾形武文・秋田重誠: 1999 年の夏期高温が水稻の登熟と米品質に及ぼした影響、日作紀 70(3): P449-458(2001)
- 10) 若松謙一・佐々木修・上藺一郎・田中昭男: 水稻登熟期の高温条件下における背白米の発生に及ぼす窒素施肥量の影響、日作紀 77(4): P424-433(2007)
- 11) 松田晃、熊谷勝巳: 山形県における農業用水からのケイ酸とカリウムの供給量の推定、日本土壌肥料科学雑誌、第 88 巻、第 6 号、541-548(2017)
- 12) 森静香、藤井弘志: 近年の農業へのケイ酸利用と研究 6. 水稻の気象災害に対するケイ酸の収量および玄米品質の低下軽減効果、日本土壌肥料科学雑誌、第 84 巻、第 3 号、190-195(2013)
- 13) 日本土壌協会: 土壌機能モニタリング調査のための土壌、水質及び植物体分析法、(2001)
- 14) 岡山清司・山田信明・稲原誠・山田宗孝・中田均: 稲わら連用によるケイ酸供給は水稻のケイ酸吸収を増加させるか?、日本土壌肥料科学雑誌、第 93 巻、第 6 号、421-428(2022)
- 15) 佐々木裕也: 山梨県内の公共用水域および農業用水中における 溶存ケイ酸濃度調査、山梨県衛生環境研究所年報、第 66 号、38-42(2022)
- 16) 茂角正延、橘田安正、久保省三、水落頸美: リン酸緩衝液抽出法による水田土壌の可給態ケイ酸評価法、日本土壌肥料科学雑誌、第 73 巻、第 4 号、383-390(2002)
- 17) 山田宗孝、廣川智子、小池潤、中田均、清水雅代、東英男: 土壌の可給態ケイ酸の診断におけるリン酸緩衝液抽出法の適用性、富山県農林水産総合技術センター農業研究所研究報告、第 9 号、15-21(2022)
- 18) 高橋真史、山崎修平、佐々木裕也、上野直也: 水稻へのケイ酸施用が玄米収量及び玄米外観品質へ及ぼす影響、山梨県総合農業技術センター研究報告、第 17 号、P15-20(2024)