

ケイ素の生物学 —11—

京都大学名誉教授

高 橋 英 一

ケイ素と農業

「ケイ酸肥料」と「ケイ酸地力」

ケイ素はいろいろなケイ酸鉱物として土壌中に豊富に存在しています。このような土の上に営まれる農業に対して、ケイ素は「肥料」としてどの程度の施用効果をもっているのでしょうか。これには栽培される土壌と作物の特性および利用可能なケイ酸質資材の有無が関係します。

ケイ酸肥料登場の経緯

わが国では、水耕で「ケイ酸」をケイ酸ナトリウムなどで水稻に施用すると増収することが戦前から認められていました。戦後米の生産力増強が図られる中で、当時問題になっていた秋落ち水田の改良に「ケイ酸」の効果が高いことが注目され、一方折から急成長をしていた製鉄工業から大量に排出される鉱滓に、ケイ酸質素材として利用可能なものがあることから、鉱滓の肥料化についての試験研究が各地で行われました。

また土壌調査の結果、わが国水田の三分の一近くにケイ酸欠乏の可能性が認められたため（表12参照）、農林省は昭和30年にケイ酸を新たに肥料成分に加えるとともに、鉱滓の中からケイ酸の肥効が確認され且つ有害成分のないものを「ケイ酸

表12 特殊成分欠乏地の作物別面積

(耕土培養事業の成績)

	ケイ酸		苦土	
	ha	%	ha	%
欠乏総面積	888,097	(100.00)	412,393	(100.00)
水 稲	874,598	(98.48)	68,665	(16.65)
陸 稲	1,989	(0.22)	2,592	(0.63)
麦 類	10,482	(1.18)	224,371	(54.41)
い も 類			22,386	(5.43)
雑 穀	970	(0.11)	46,972	(11.39)
野菜類と菜種	58	(0.01)	18,814	(4.56)
果 樹			12,076	(2.93)
そ の 他			16,517	(4.00)

質肥料」に指定しました。鉱滓は欧米でも肥料として利用されていましたがそれは石灰質肥料としてであって、これをケイ酸分の給源として利用しようとしたのは当時はわが国だけでした。ここにわが国農業の特徴がみられます。

イネに対するケイ酸施用効果

土壌には多量のケイ酸が存在するのにケイ酸施用の効果が認められるのは、イネのケイ酸吸収量（健全な生育に対する要求量）が非常に多いこととともに（表13）、土壌のケイ酸供給力が母材や気候条

表13 玄米100kgの生産に見合う養分吸収量 (kg)

窒素	リン酸	カリウム	カルシウム	ケイ素
2.1	1.1	3.3	0.7	20.0

件によって低い場合のあることによっています。表14にみられるように、火山灰や頁岩を母材とする土壌のケイ酸供給力は高いが、火山灰も年代が古くなるにつれて脱ケイ酸が進み供給力は低下し

表14 母材の種類とケイ酸供給力

母材の種類	調査地域	イネ茎葉のケイ酸含有率の平均値
火山灰	栃木県	16.8%
頁岩	岐阜県	16.3
火山灰(古い)	岐阜県	10.5
火山灰(古い)	山形県	7.5
花崗岩	山形県	7.2
花崗岩	長野県	6.7
泥炭	山形県	5.1

今泉吉郎, 吉田昌一：農技研報告 B 第8号 290頁(1958)てゆきます。また花崗岩を母材とする土壌や泥炭土壌のケイ酸供給力は著しく低くなっています。ケイ酸施用の効果の認められるのはこのようなところす。

表15は世界の水田土壌の有効態ケイ酸の一例で

すが、わが国の有効態ケイ酸含量は中位よりかなり下になっており、このことは水稻の多肥集約栽培

表15 水田土壌の有効ケイ酸含量の比較

	有効ケイ酸mg/100g風乾土
西マレーシア	10.4
カンボジア	11.3
タイ	12.2
バングラデシュ	12.9
日 本	19.5
スリランカ	21.6
ビルマ	22.1
地中海諸国*	23.9
インド東部	34.7
オーストラリア	42.8
フィリッピン	45.4
ジャワ	62.9

*スペイン, イタリア, ポルトガル

川口桂三郎: 土壌学概論 192頁 養覽堂 (1977)

培とあいまって、ケイ酸肥料導入の一因となったと思われます。水稻栽培には多量の灌がい水が用いられるので、灌がい水からのケイ酸供給の影響も無視できません。表16に見られるように河川水のケイ酸濃度は流域の地質の影響をうけており、またイナワラのケイ酸含有率と灌がい水のケイ酸濃度の間には高い相関があることも知らされています。このことは河川水によって供給されるケイ酸の意義を示すとともに、天水依存の稲作はケイ酸供給の点からも不利であることを示唆しています。

表16 地質別河川水のケイ酸濃度

(小林 純 1971)

地 質	河 川	ケイ酸濃度
古生代	荒川(埼玉), 多摩川(東京), 揖斐川(岐阜), 高梁川(岡山), 球磨川(熊本)の平均	ppm 12.5
中生代	日高川(和歌山), 四万十川, 那賀川(徳島), 一ツ瀬川(宮崎)の平均	11.0
花崗岩	木曾川(岐阜), 大戸川(滋賀) 太田川, 可愛川(広島), 祝子川(宮崎)の平均	13.9
火山噴出物	烏川, 粕川(群馬), 桂川(山梨), 大野川(大分), 筑後川(福岡), 大淀川(宮崎), 川内川(鹿児島)の平均	47.5

湿潤な熱帯、亜熱帯地域に分布するオキシゾル(Oxisol) やアルティゾル(Ultisol) と呼ばれる土壌のケイ酸含量は、脱ケイ酸作用の進行によって温帯土壌の1/5~1/10と著しく低くなっています。西アフリカおよび中央アフリカでは、このような土壌にしばしば陸稲が栽培されていますが、これらに対するケイ酸塩施用効果には大きいものがあります。たとえばナイジェリアで行われた陸稲の栽培試験(イネ8品種、アルティゾルに粒状ケイ酸ナトリウムをSiとして18.7g/m施用)では、ケイ酸施用によって平均で止葉のケイ酸濃度は2.20%から4.00%にまた収量は48%増加し、罹病も大幅に軽減されました⁵⁸⁾。

有機質土壌(ヒストゾル)も可吸態ケイ酸に乏しいですが、このような土壌に栽培されるイネにケイ酸施用効果が大きいことも知られています。フロリダ南部(エバグレイド)の黒泥土地域で行われた水稻の栽培試験(試験地2箇所、イネ10品種、ケイ酸スラッグSiとして2t/ha施用)では、ケイ酸施用によって茎葉のケイ酸濃度は平均で4.72%から8.81%に増加し、罹病度は半減し、20%近い増収となりました⁵⁹⁾。

持続可能な稲作を支える「ケイ酸地力」

世界には可吸態ケイ酸に乏しい土壌が少なくない一方で、毎年土壌から多量のケイ酸がイネによって収奪されています。これを1993年の世界のコメ生産量から推算すると、粳収量5億1900万t、

表17 イネ、コムギ茎葉および跡地土壌のケイ酸濃度に及ぼす堆肥連用の影響⁶¹⁾

(中田均氏の研究報告より作成)

		堆肥連用系 平均 A	堆肥無施用系 平均 B	A/B
茎 葉 SiO ₂ %	イ ネ	13.71	11.33	1.21
	コ ム ギ	9.11	6.43	1.42
0.2NHCl可溶土壌 SiO ₂ ppm		1120	902	1.24

滋賀県農業試験場で昭和8年から40年間にわたる長期圃場試験(表作イネ, 裏作コムギ)が行われた。試験区は無堆肥系列8試験区(化学肥料のみ), 堆肥系列8試験区(化学肥料に堆肥を10a当り年間2.14t施用)。試験終了の翌年, 同様の施肥設計で跡地にイネとコムギを栽培し, イネ, コムギのケイ酸含有率と跡地土壌の可溶性ケイ酸を測定。

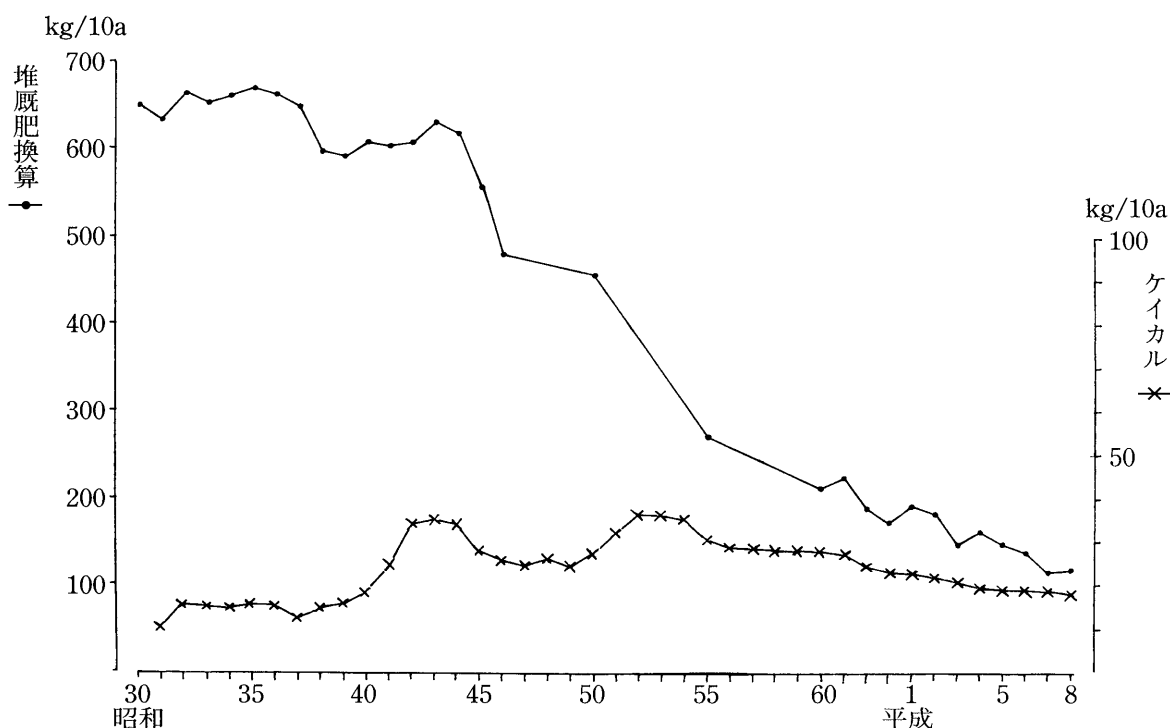
藁／粃比1.2，粃殻／粃比0.2，ケイ酸含有率を藁8%，粃殻16%として，6600万tに上ります⁶⁰⁾（日本は192万t）。これらがどの程度土壤に還元されるかが「ケイ酸地力」に大きく関わります。表17は長期にわたる堆肥の連用が作物のケイ酸含有率と土壤の可溶性ケイ酸濃度に及ぼす影響を調べたものですが，堆肥連用は明らかにケイ酸地力を高めています⁶¹⁾。しかしいろいろな事情で，ケイ酸に富んだ作物残渣が土壤に返されない場合が多いのは問題です。

わが国ではこれをケイ酸質肥料（ケイカル等）で補ってきました。昭和の初めの堆肥の生産量は約2000万トン，肥料不足で自給肥料の生産奨励が行われた昭和20年前後は6000万トンにも上り，

量の減少によるケイ酸供給量の低下を，ある期間肩代わりするかたちで増加してきたことが分かります。イネに対する堆肥肥施用量は全国平均で，昭和30年の10アール当たり650キロから昭和45年には550キロに低下していますが，これは年間総投与量にして1800万トンから1500万トンへと300万トンの減少です。これによって堆肥肥から供給されるケイ酸は15万トン減少したことになりますが，ケイカルに換算すると60万トンに相当し，昭和43年のケイカル消費量110万トンの半分近い値です。

しかしその後もケイ酸の供給量は減少の一途をたどり，平成8年では堆肥肥の投与量は昭和45年の5分の1，ケイカル消費量も30万トンと最盛期の4分の1近くになっています。このことからわ

図30 イネに対する堆肥肥+生ワラ（堆肥肥換算で表示），ケイカル（原体）施用量の変遷



昔は堆肥肥を通じて大量にケイ酸が水田に供給されていました。ケイカル施用が始まった昭和30年の水田に対する堆肥肥施用量は年間約1800万トンで，これは堆肥肥のケイ酸含有率を5パーセントとすると，ケイカル換算360万トンに相当する供給量でした。

図30は堆肥肥（生ワラを含む）とケイカル施用量の経年変化ですが，ケイカル施用量は堆肥肥施用

が国水田土壤のケイ酸地力が現在かなり低下しているのではないかと危惧されます。事実たとえば山形県では，最近土壤中の可吸態ケイ酸含有量および穂揃期以降の稲体ケイ酸含量が低下している傾向が認められており，また県内の主要な農業用水のケイ酸濃度が，この40年間に半分以下に激減していることが報告されています（1956年の農業用水の平均ケイ酸濃度23.9ppmに対して1996年は

10.2ppm)⁶²⁾。

イネ以外の畑作物に対するケイ酸施用効果

麦類については前回紹介したローザムステッドの長期圃場試験など、欧米でも効果は認められています。麦類のケイ酸吸収性はイネにくらべてかなり低く、ケイ酸に対する生育反応も一般に弱いですが、稔性はイネと同様かなり影響をうけるようです。またウドンコ病などに対する抵抗性を増す効果もあります。

サトウキビは麦類よりケイ酸含有率が高いですが、ハワイのサトウキビは葉に斑点を生じ、生育や砂糖収量が悪い場合があります、このようなサトウキビの葉のケイ酸含有率が著しく低いことから、ケイ酸塩施用の効果が試験されました。栽培土壤のケイ酸含有率は5.1パーセントと著しく低かったが、これにケイカルを4.5t/ha施用したところ生育量で約30パーセント、砂糖収量で約35パーセント増収し、葉の異常斑点も生じませんでした。このような試験の結果から、ハワイではサトウキビに対するケイ酸塩施用基準として、土壤の酢酸塩緩衝液可溶ケイ素20ppm以下、葉のケイ素含有率0.5パーセント以下が提案されました⁶³⁾。

イネ科以外の畑作物ではキウリがあります。前に述べたようにキウリのケイ酸含有率は外液のケイ酸濃度によってはかなり高くなります。そしてウドンコ病に対する抵抗性が強くなることが認められています。養液栽培の盛んなオランダでは、キウリの培養液にはケイ酸（ケイ酸カリウム）が処方されています。またケイ酸をあまり吸収しないブドウなどには、ウドンコ病防止にケイ酸溶液の葉面散布が有効であるといわれています⁶⁴⁾。

ケイ酸塩肥料の塩基成分の問題

ケイ素の給源として使用されるケイ酸塩には、ケイ酸ナトリウム（水ガラス）、ケイ酸カルシウム（鉍滓）、ケイ酸カリウム、ケイ酸マグネシウム（溶りん）などがあります。これらの無機塩のケイ酸はイナワラ堆肥にくらべて速効性ですが、随伴塩基はケイ酸よりも強い化学性、生理作用をもっていることに注意する必要があります。

たとえば鉍滓は多量に施用されると、アルカリ効果によって土壤中の有機態窒素の無機化を促進し、これが状況によっていろいろな影響をもたら

します。随伴塩基の生理作用も土壤の性質や作物の栄養特性（要求性）によっては、ケイ酸以上の影響を及ぼす可能性があります。カルシウムは鉍滓の中にケイ素の倍以上も含まれていますが、イネの吸収するカルシウムはケイ素の十分の一以下です。鉍滓の施用量は一般に多いので、このアンバランスは留意しておくべきでしょう。これに関して、最近ケイ酸肥料としての利用が注目されているシリカゲルは、純粋なケイ酸の効果のみの見られる肥料として面白いと思います。一方ケイ酸塩を用いる場合は、随伴塩基の性質を活用する工夫が必要です。

参 考 文 献

- 58) Mark D. Winslow : Silicon, Disease Resistance, and Yield of Rice Genotypes under Upland Cultural Conditions, *Crop Sci.* **32**, 1208—1213 (1992)
- 59) C. W. Deren, L. E. Datnoff, G. H. Snyder, and F. G. Martin : Silicon Concentration, Disease Response, and Yield Components of Rice Genotypes Grown on Flooded Organic Histosol, *Crop Sci.* **34**, 733—737 (1994)
- 60) 文献4) の161頁
- 61) 高橋英一：ケイ酸植物と石灰植物、112—115頁 農文協 (1987)
- 62) 熊谷勝巳、今野陽一、黒田潤、上野正夫：山形県における農業用水のケイ酸濃度、日土肥誌 **69** (6), 636—637 (1998)
- 63) Fox, R. L. et al : Soil and Plant Silicon and Silicate Response by Sugar Cane, *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **31** (6), 775—779 (1969)
- 64) Pat Bowen et al : Soluble Silicon Sprays Inhibit Powdery Mildew Development on Grape Leaves, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **117** (6), 906—912 (1992)