

File No. 22

植物とけい酸

けい素 (Si) は、元素周期表では第 4 族第 3 周期に位置する元素で、反応性が富み、自然界では単体として存在せず、他の元素と結合して化合物しか存在しない。特に酸素と結合して形成するいわゆるケイ酸塩がもっとも多く、アルミニウムの酸化物が加わったアルミノケイ酸塩が多くの岩石を構成する。アメリカの地球化学者フランク・クラーク (Frank W. Clarke, 1847~1931) によれば、けい素は地殻に酸素に次ぐ 2 番目多い元素で、地殻重量の約 25% を占める。

通常、農業分野にけい酸と呼ばれるものは二酸化ケイ素 (silicon dioxide) で、分子式 SiO_2 、シリカ (silica) とも呼ばれる。二酸化ケイ素はけい素の酸化物として、圧力、温度の条件により多様な結晶相 (結晶多形) が存在し、砂を構成する石英のような純粋の二酸化ケイ素結晶や、粘土鉱物を構成する層状ケイ酸塩鉱物結晶、珪藻土や生物中に存在している非結晶性水和シリカなどがある。

植物の生育に必要な不可欠の元素は、窒素、りん、カリウム、カルシウム、酸素、水素、炭素、マグネシウム、硫黄、鉄、マンガン、ホウ素、亜鉛、モリブデン、銅、塩素の 16 種類である。これらの元素は必須元素と呼ばれ、そのうち一つでも欠けると植物体の生長が完結しない。一方、けい素とナトリウムは植物の必須元素ではないが、植物の生育促進と環境耐性を高める作用があり、有用元素と呼ばれる。

植物にとってけい素が有用である主な理由は、各種の環境ストレス耐性を高める効果にある。けい酸肥料を施用した作物ではその耐病性、耐塩性をはじめ、耐乾性、耐虫性、耐倒伏性など様々な耐性が高くなったことが多くの実験によって明らかにされた。

そのメカニズムはイネを材料とする研究の結果は次のようである。けい酸は植物内に吸収されると、特定の細胞の細胞壁に蓄積しガラス質の細胞体を形成する。イネに吸収されたけい酸は葉の表皮組織の一番外側にあるクチクラ層の下に集積して、けい酸だけで組織された固いシリカ層と、外側の細胞膜の間隙がけい酸で充たされたシリカセルローズ膜をつくる。このクチクラ・シリカ二重層を有する細胞は通称ケイ化細胞と呼ばれる (図 1)。

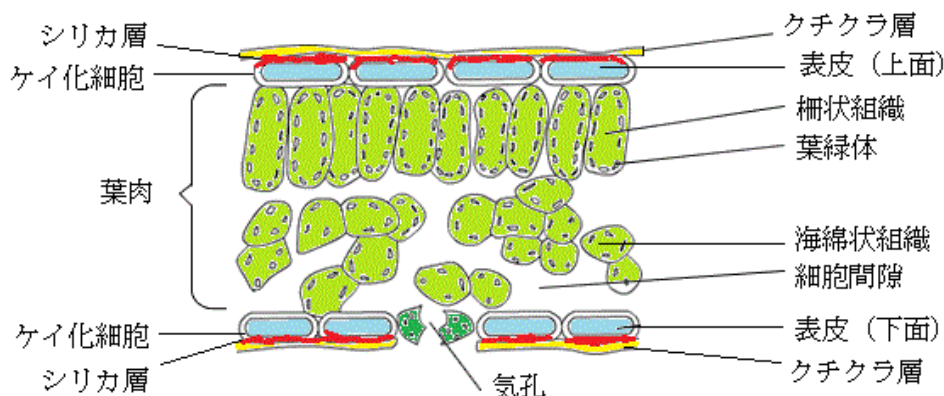


図 1. イネの葉の構造模式図

発達した表皮のケイ化細胞が水分のむだな蒸散を抑えるとともに強靱化された組織により病原菌の侵入と害虫の食害を阻止するいわゆる病虫害抵抗力が強まる。茎が丈夫になり、葉が直立し受光態勢が良くなって光合成が盛んで、登熟が向上し、倒伏に強い。また、もみ殻のけい酸含有率が高くなるので、斑点米の原因となるカメムシの食害を受けにくくなる。

ある研究では、同じ土壌に生育した 175 種類の植物についてけい素とカルシウムの比率を調べたところ、互いに拮抗関係にあり、けい素含有量が高い植物はカルシウム含有量が低いことを発見した。けい素とカルシウムの比率が 1.1 : 1 を超えた植物をケイ酸植物と呼ばれ、そのけい素含有量の平均値は 1.96% である。一方、非ケイ酸植物のけい素含有量の平均値は 0.25% しかない。その開きが 8 倍もある。

一番良く知られたケイ酸植物はイネである。イネに吸収されたケイ酸の量が窒素、りん酸、加里の肥料三要素の合計量よりも多い。イネの葉身が約 10~20% の非結晶性の水和したけい酸を含んでいて、葉身のけい酸含有率が 10% を下回ると茎葉が軟弱になりやすく、病虫害、倒伏、異常気象（冷害、高温障害）などに対する抵抗力が弱くなる。また、もみ殻に多量のけい酸を集積して、もみ殻が燃やした後残った灰の 87~97% は非結晶性の水和した形態のけい酸である。10 アールの田んぼで 600kg 玄米を収穫する場合には、約 120kg のけい酸を吸収するといわれる。イネのほかにコケ植物、シダ植物のヒカゲノカズラ類、トクサ類の一部、イネ科植物、カヤツリグサ科にもケイ酸植物が多く存在する。

植物へのけい酸供給源は、主に以下の三つである。① 土壌から溶出したもの、② 植物残骸が分解したもの、③ 灌漑水から持ち込まれたものである。

けい素は地殻に多く存在しているが、そのほとんどが石英やケイ酸塩結晶鉱物の状態である。畑や田んぼの土壌を構成する粘土鉱物もケイ酸アルミニウム塩の層状結晶である。このような粘土鉱物の結晶性けい酸塩は水にほとんど溶けない。ある調査では、土壌溶液中のけい酸濃度は 30~40ppm に過ぎず、その溶解度は温度や pH の影響を強く受ける。非ケイ酸植物ならば、土壌から吸収したけい酸の量だけでも生育に満足できるが、ケイ酸植物、特に多量のけい酸が必要とするイネなどは土壌から供給されるけい酸の量が常に不足である。

植物体内のけい酸は非結晶性の水和した形態のけい酸で、土壌に残った植物残骸が微生物などの分解により放出される。非結晶性のけい酸は難溶性ではあるが、溶解度が結晶性のけい酸より高く、植物に吸収利用されやすい。従って、収穫後の稲わらやもみ殻を田んぼに残して、分解腐熟させることは次の稲作によいことである。

ケイ酸植物、特にイネに必要なけい酸は灌漑水から供給されたものが多い。雨や雪などの形で地表面に降った水が地下に浸透して地下水となり、長い年月を経て地層を潜り抜けて地表に流出して河川や池、湖などの地表水を形成する。その地層から溶け出したけい酸は灌漑水と一緒に植物に供給される。特に田んぼにはけい酸の約半分は河川水から補給されるものである（図 1）。なお、灌漑水のけい酸含有量が低い場合は、土壌からのケイ酸溶

出量が若干増える。

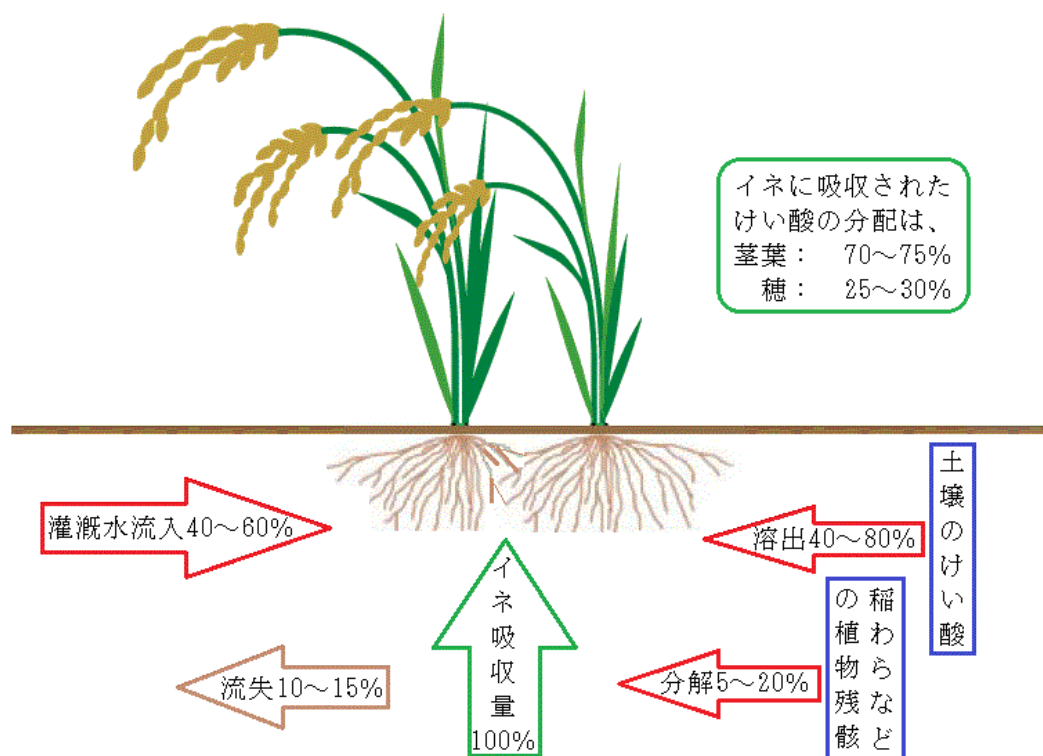


図 2. イネへのけい酸供給源と吸収されたけい酸の体内分配模式図（イネのけい酸吸収量を 100%とする場合）

河川水のけい酸含有量はその流域の地質によって異なる。本邦では火砕流など堆積した流紋岩や軽石、溶岩からできた安山岩、玄武岩や花崗岩から湧き出した水はけい酸濃度が高く、10～20ppm もあるが、砂岩や石灰岩からの湧水は 10ppm 以下の場合が多い。雨水や雪溶け水はけい酸がほとんどない。ただし、湖や溜池に流入した河川水のけい酸は珪藻に摂取されることや金属水酸化物に吸着することなどがあり、けい酸含有量が低下する。ある調査によれば、琵琶湖に流入した河川水のけい酸濃度はいずれの河川も 8～10ppm であるが、湖水のそれは年平均で 1ppm 以下である。

土壌から溶出したけい酸と灌漑水からのけい酸量が不足すると、ケイ酸植物の生長が衰え、環境ストレス耐性が落ちて、収穫量が減少する。その対策を講じる必要がある。

けい酸不足の対策はケイカル（鉍さいけい酸質肥料）、熔燐（熔成りん肥）、シリカゲルなどの非結晶性けい酸を含有する肥料と土壌改良資材で補うしかない。コストパフォーマンスが高いのはケイカルとシリカゲルである。

ケイカルは製鉄高炉や製鋼転炉の熔融した鉍さいを炉から出した時にジェット水流に注入して急激に冷却され、同時に細かく粉碎されたものである。急冷したため、鉍さい中のけい酸が結晶できず、溶けやすい非結晶性の形となり、可溶性けい酸 20～30%の製品がほとんどである。けい酸のほか、カルシウム、苦土、鉄、マンガンも含んでいて、値段が安

く、アルカリ分があり、土壌の酸性改良にも役立つ。従って、イネのほか、畑作、牧草にも幅広く利用されている。

シリカゲルは非結晶性の水和けい酸の無定型微粒子が凝集したもので、可溶性けい酸が85～95%を有する。特に粉状のシリカゲル粉は表面積が広く、溶解性が高く、けい酸の補充に緊急を要する場合には適する。

けい素は必須元素ではないため、非ケイ酸植物にとって、有ってもなくても生育にほとんど影響がない。また、ケイ酸植物も土壌や灌漑水からけい酸が十分に供給される場合は、けい酸肥料を施用しても効果が出ない。本邦では雪の多い北海道、東北、北陸にはけい酸肥料の施用効果が出やすいが、その他の地域ははっきりした効果が見られないことが多い。その理由は雪のけい酸含有量が非常に少なく、雪溶け水を灌漑水とする地域では、田んぼからのけい酸供給量が常に不足がちな状態に陥って、けい酸肥料の施用により不足分のけい酸が補充されるからである。

余談だが、植物に吸収されたけい酸はほとんどケイ化細胞に蓄積されており、植物が枯れた後もその一部がプラント・オパールと呼ばれる透明なガラス質の微片となって、土壌中に半永久的に残っている。特にイネ科植物はプラント・オパールが残りやすく、稲作の起源を探る考古学の研究に重要な証拠となっている。図3はイネのプラント・オパールの写真である。

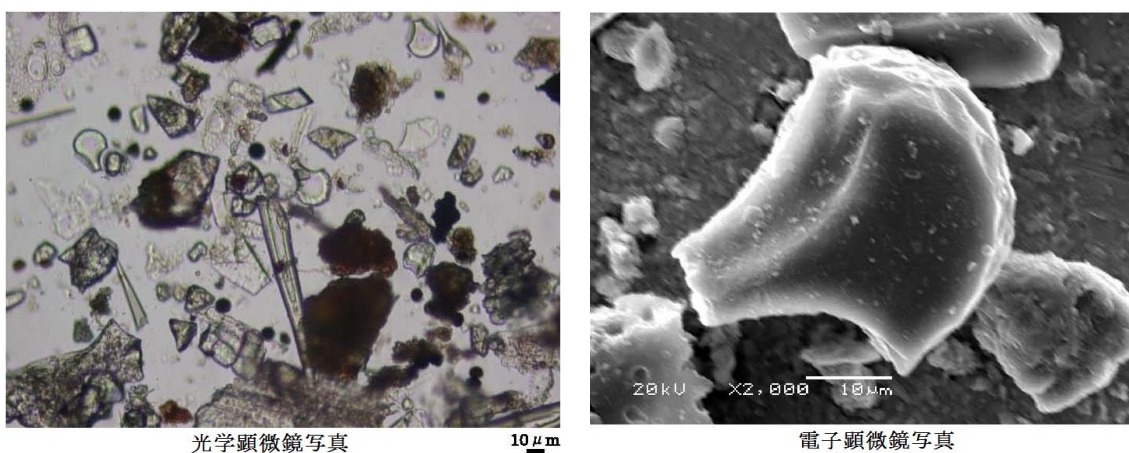


図3. イネのプラント・オパールの写真（岡山理科大学小林博昭教授からの引用）