

## わが国の酸性硫酸塩土壌の分布と対策

誌名	農業技術
ISSN	03888479
著者	川崎, 弘
巻/号	44巻9号
掲載ページ	p. 409-414
発行年月	1989年9月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



# わが国の酸性硫酸塩土壌の分布と対策

川 崎 弘

## はじめに

16世紀以来国土の多くを干拓地の造成によって拡張してきたオランダでは<sup>59)</sup>、淡黄色の斑紋を帯びて極端に肥沃度の低い不毛の干拓地土壌を、農家の人は *Katteklei* (cat clay) と呼んで、問題視していた (*Klei* は海成や河成の新しい沖積土のこと)。この土壌が酸性硫酸塩土壌であり、文献上では1735年に *Linnaeus* によってなされた“硫酸塩土壌”に関する報告が最初のものである<sup>1)</sup>。

わが国でも干拓地造成の歴史はオランダとほぼ同じ頃に始まっているが<sup>27)</sup>、この土壌が顕在化したのは最近のことであり<sup>20)</sup>、戦後の食糧難を背景として実施された一連の干拓地造成によるものであった<sup>30,51)</sup>。その後わが国では干拓地造成をはじめとして、低地での農耕地基盤整備や台地・丘陵地での大型機械の導入による大規模な土地改変工事が進展する中で、この土壌の出現による被害が続発する状況にある(第1図)。

この土壌は主として湿潤熱帯や亜熱帯に分布し、その面積はおよそ1,000万haにも及ぶとされているが<sup>29,45)</sup>、この数値は沿岸域に分布する低湿地を対象とした推定値であって、わが国の事例に見られるような台地や丘陵地

での存在をも考慮したものではない。それゆえ、これら低湿地の後背地である沖積平野や台地・丘陵地での分布をも考慮すれば、その面積は倍加すると考えられる。

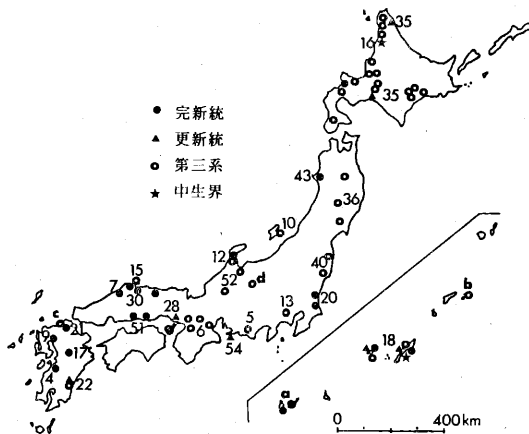
狭い国土に多くの人口を抱えるわが国では、都市近郊での農耕地の減少と地価の高騰とを背景に、低地はもとより台地や丘陵地を対象とした農耕地、住宅地、娯楽施設用地などの造成のための大規模な土地改変は、今後激化してゆくことはあっても沈静化してゆくことはないと考えられる。わが国の表層地質を考慮するとき、これら工事の進展に伴って台地、丘陵地のみならず山地においてもこの土壌(地層)の出現する機会は益々増大し、予期せぬ被害の発生が懸念されるところである。その被害は農耕地における作物の生育障害のみならず、コンクリート建造物の腐蝕による強度低下<sup>24)</sup>やガス・水道管などの地下埋設物の腐蝕によるガスや水の漏れなど<sup>13)</sup>、極めて危険な側面を有している。事前に察知し得ていれば危険を回避し得ると考えられるので、工事にかかわる人達にはこの土壌(地層)に関する知識を少しでも多くもって欲しいと願うものである。

今日では酸性硫酸塩土壌に関する研究報告は数多く存在し、シンポジウム報告<sup>2,25,33)</sup>や総説<sup>1,26)</sup>も少なくない。今更という思いもするが、依然として被害の発生が続いている現状と今後も多発が予想されることを考慮し、重複を恐れず表記の課題に取り組んでみた。

## 酸性硫酸塩土壌とは

すでに土壌(地層)と書いたように、今日では酸性硫酸塩土壌という言葉の概念規定には多少の無理があり、ある種のとまどいを覚えるのも止むを得ないことかと思われる。これに関連して次のような話がある<sup>3)</sup>。昔、オランダの干拓地を見学したロシアのある有名な土壌学者が「これは土壌ではない」と述べ、これに対してオランダの *Hissink* 博士は「多分お説の通りでしょう。しかし、作物の生産は可能である」と返答したという。初めの見解には、土壌は土壌生成作用の結果として存在するものであり、単なる水中堆積物は土壌とはみなされない、という考えがうかがえる。またその返答には、生産力の高い干拓地土壌は、土壌としての資格を立派に備えている、という見解がある。

現在では造成後間もない干拓地土壌は未熟土 (Soil



第1図 わが国における酸性硫酸塩土壌の出現位置と地質

注) 数字は引用文献 No. を示し、a~d は私信による出典を示す。a: 亀谷茂, b: 品川昭夫, c: 神屋勇雄, d: 鬼藪豊

Hiroshi KAWASAKI: Distribution and Management of Acid Sulfate Soils in Japan. 農業技術 44 (9), 1989

Taxonomy) として分類されている。また一方では、岩石を土壌として取扱うのかという問題が生じてくる。外国では干拓地や湖沼などの低温地で酸性硫酸塩土壌は専ら出現し、最近のわが国での事例のように、台地や丘陵地で出現することは極めて少なかったために、このような問題が提起されることはなかったかと思われる。

元来、酸性硫酸塩土壌は地層として存在し、低地では完新統、台地や丘陵地では更新統や第三系、中生界などからなっている。それら地層の構成物は、完新統や更新統では比較的軟弱な粘土からなっているが、第三系や中生界では泥岩、砂岩、粘板岩などの硬い岩石からなっている。これら地層が可酸化性硫黄を含み、人為的に地表に露出されることによって硫酸を生成し、その結果として強酸性化による被害の多発をまねいているのがわが国の現状である。従来の酸性硫酸塩土壌に関する研究は専ら非固結堆積物からなる完新統についてなされ、固結堆積岩からなる第三系や中生界についての報告は少ない。近年わが国において第三系の酸性硫酸塩土壌についての報告事例が多いのは、それだけ台地や丘陵地での大規模な人工土地改変が進展していることの証拠でもある。

次にこの土壌の分類上の規定に触れておきたい。近年世界の多くの国で使用されつつあるアメリカ合衆国の土壌分類 (Soil Taxonomy)<sup>44)</sup> では、酸性硫酸塩土壌は sulfaric 層や sulfidic 層を有するものとなっている。前者は無機または有機の土壌物質からなり、pH が 3.5 より低く (土壌と水の比が 1:1)、jarosite の斑紋 (マンセル土色帖で色相が 2.5Y かそれより黄色で彩度が 6 以上) を有するものであり、後者は乾土当り 0.75% 以上の硫黄を硫化物として含み、かつ硫黄含有量の 3 倍以下の炭酸石灰当量を有するものとなっている。換言すれば、硫化物の酸化によって生成する硫酸を中和するために必要な中和剤 (サンゴや貝殻などの炭酸石灰類似物) を十分には含まず、強酸性化するものを意味している。

要するに sulfaric 層を有するものは顕在化した酸性硫酸塩土壌であり、sulfidic 層を有するものは潜在的なものを意味している。また、FAO/Unesco の世界土壌図の分類単位の中では thionic 層の規定があり、それは地表から 1 m 以内の深さに酸化処理によって pH(KCl) が 3.5 より低くなる土層を有する土壌となっている<sup>3)</sup>。

上記 2 つの分類規定の間には幾分かの意味あいの違いはあるにしても、いずれも顕在化したものと潜在的なものを含み、pH 3.5 という値を指標にして塩基未飽和型の酸性土壌からこの土壌を区分している。すなわち、わが国未耕地に広く分布する塩基溶脱型の酸性土壌は、主としてアルミニウムイオンが支配する酸性であって、そ

の水浸 pH は 4.0 を切って低くなることはなく、置換酸度 pH(KCl) でも 3.5 を切ることはないという前提があって、この区分法は考えられている。それゆえ、pH が 3.5 を切って低くなる土壌が存在すれば、そこには硫酸や硝酸などの無機態強酸の存在が考えられる。

### 硫化物の特性とその生成環境

一定量以上の硫化物を含み、その酸化によって硫酸が生成され、その結果として強酸性化するのがこの土壌の特徴とされている。ではその硫化物とは如何なる物質であるのか。その性質と生成環境がこの土壌(地層)の性質や外観を規定することになる。既往の研究報告によれば、その主要物質は pyrite (黄鉄鉱  $\text{FeS}_2$ ) であり<sup>31)</sup>、まれには greigite (グレグ鉱  $\text{Fe}_3\text{S}_4$ )<sup>32)</sup> とされている。その他副成分としては硫化第 1 鉄  $\text{FeS}$  (mackinawite, hydrotroite, pyrrotite など) や単体硫黄、有機態硫黄などが含まれるが、亜硫酸塩やチオ硫酸塩はほとんど含まれないとされている<sup>39)</sup>。

Pyrite は淡黄色で、比重 4.9~5.1 の重鉱物であり、正六面体、正八面体、五角十二面体などの結晶として産出する<sup>41)</sup>。この鉱物は酸化剤に対しては極めて不安定であり、容易に発熱分解されて硫酸が生成される。しかし嫌気的な条件下では極めて安定な鉱物であって、硫酸や塩酸に対してのみならず、ケイ酸塩鉱物の分解剤である弗酸に対しても安定である。比重が大きく、これら強酸に対しても安定な性質を利用して土壌中からこの鉱物を濃縮したり、単離することができる。この鉱物は硫化物としては最も広く分布する物質であり、熱水溶液から交代沈澱することによって、しばしば鉱床をなすことが多く、このほか火成岩の副成分として産出したり、堆積成層として発達することもある<sup>44)</sup>。しかし、ここで問題にするのは堆積層中の pyrite である。その理由は、この地層が低地や台地・丘陵地の主たる表層地質として私達の日常生活に深いかかわりを有しているからにほかならない。

しかしながら、これら堆積層がすべて問題となるほどの硫化物を含んでいるわけではなく、それぞれの地層の堆積環境条件の違いを反映してほとんど含まれない地層も存在する<sup>6, 32)</sup>。また、多量の硫化物を含む地層であっても硫化物はその地層の全体にむらなく分布するのではなく偏在し、レンズ状に分布していることもある<sup>43)</sup>。このことは、水中堆積環境条件の下でも硫化物が極めて生成しやすい条件があることを示唆している。そのための必要条件としては、嫌気的な条件とその構成成分である鉄と硫黄が供給され得る環境とが不可欠と考えられる。

現在、潜在的な酸性硫酸塩土壌が生成されている地帯

の環境が何よりも硫化物(pyrite)の生成条件を教えてくれている。それはいずれも河口周辺にあつて、熱帯ではマングローブ植生に覆われる湿地帯、温帯ではヨシなどの水生植物が繁茂する湿地帯である。そこには海水中に多量に含まれる硫酸根からの硫黄の供給が十分にあり、水生植物遺体などからの易分解性有機物の供給もあつて、嫌氣的還元条件も十分に発達している。残る鉄の供給は、河川水によって上流から流入する土粒子に附着した遊離態の酸化鉄が存在する。

島根県の中海や宍道湖の全域についてその底土を調査した村上<sup>30)</sup>は、pyriteを含む底土の分布には一定の規則性があり、河口附近や湾、あるいは入江の内部などにあつて、沿岸に市街地が存在するところなどにpyriteが多いことを認めている。また、土性が細粒質なものほどpyriteが多い傾向を示すという。このことは細粒質であるほど土粒子に附着した遊離態鉄が多いことに関連していると考えられる。既往の調査結果によれば、海成または河海成沖積地におけるpyrite含量は、多いものでも4~6%程度であるが、火山の影響下にある沖積地では20%にも達することがある<sup>17)</sup>。

上述のように、pyriteを含む地層は多くの場合、海性や汽水性の環境の下で、有機物の供給が十分にある嫌氣的な条件下で生成されるため、新しいこの地層は暗灰色ないし暗青灰色を呈する場合が多く、しばしば炭化木片や貝殻を含んでいる。そのため、土色や炭化木片の存在によってその地層が強酸性化するか否かの判定をすることがある程度できるが、より確かな判断をするためには過酸化水素を用いた酸化処理によるpHの低下を確認することが必要となる。

### Pyrite の生成機構

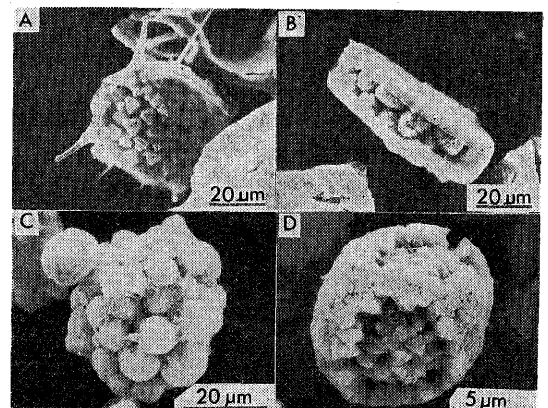
水中堆積物としてのpyriteを含む地層の生成条件としては、硫黄の給源としての海水の存在と還元条件生成のための易分解性有機物の供給が不可欠なことは明らかである。しかし、そのような条件下で、何故硫化第1鉄FeSが生成されずにpyrite FeS<sub>2</sub>が圧倒的に多く生成されるのか。このことに関して、FeS<sub>2</sub>の方がFeSよりも溶解度が小さく、より安定であるからとの説明<sup>27)</sup>もなされているが、その生成を促進する環境条件としての酸化還元電位<sup>49)</sup>や微生物の活動などがpyriteの生成に有利に展開するためと考えられる。その生成機構に関しては未だ論議のあるところである。

これら地層中のpyriteは、多くの場合に多数の単結晶からなる球状団粒(framboidal body)として存在し、植物細胞組織内<sup>46)</sup>やケイ藻<sup>11,25)</sup>、有孔虫、放散虫<sup>16)</sup>など

の微生物細胞内に充填された状態で見出される事実がある。また、これら生物遺体とは関係なく、pyrite団粒がブドウの房状集合体として土粒子間隙に存在することもある。

これらpyriteの生成機構に関して二つの説がある。その一つは次のような考えである。まず、硫酸還元菌の作用で海水中のSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>からH<sub>2</sub>SやS<sup>2-</sup>が生成され、S<sup>2-</sup>は酸化鉄の還元によって生成されたFe<sup>3+</sup>と反応してFeSの沈澱が生成される。ついでSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の還元過程やH<sub>2</sub>Sの酸化によって元素状硫黄S<sup>0</sup>が生成され、これはFeSと反応してFeS<sub>2</sub>の沈澱を生成するというものである<sup>26,46)</sup>。この反応はほぼ実験室内で確かめられている<sup>9)</sup>。しかし、この方法では土粒子間隙に存在するpyriteについては説明することができても、ケイ藻体内のpyriteについては説明し得ないと考えられる。ケイ藻単細胞内で不溶性のFeS沈澱がまず生成され、ついでより難溶性のFeS<sub>2</sub>生成へとどのような機構によって結果するのか。

ケイ藻体内に充填されたpyrite団粒(まれには単粒)は明らかにpyrite単結晶の最密充填状態の集合体であり、その団粒の多くは極めてなめらかな表面を有している。これらは単なる単結晶の集合体ではなく、まず球状の非晶質pyriteが形成され、その後結晶化が進んだことを示唆している(第2図)。このようなpyrite団粒を観察したKato<sup>16)</sup>は次のような考えを提示した(仮説その2)。環境条件としてはpHが7前後で酸化還元電位が-50~-150mVの状態は硫黄バクテリアや硫酸バクテリアのコロニー形成に好適であり、それらのコロニー



第2図 pyriteを内包するケイ藻とpyrite団粒の二次電子像

- A : pyrite単結晶を内包するケイ藻(ユーボディスクス科)
- B : pyrite団粒を内包するケイ藻(タラシオシーラ科)
- C : 平滑な表面を有するpyrite団粒の集合体
- D : 平滑な表面を有するpyrite団粒と内部単結晶

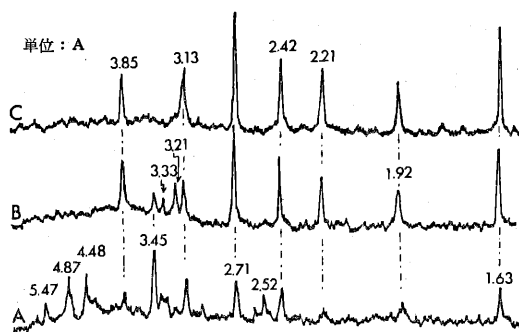
で生成された  $S^{2-}$  は  $Fe^{2+}$  と直接反応して  $FeS_2$  ゲルを形成する。その後、 $FeS_2$  ゲルはケイ藻細胞内へと移行するというものである。しかし、何故  $FeS_2$  ゲルがわざわざ微生物体内へ移行しなければならないのか、理解することができない。 $FeS_2$  ゲルは細胞外で形成されるのではなく、ケイ藻遺骸細胞内で直接形成されると考える方が自然である。すなわち、ケイ藻などの微生物代謝産物を栄養源とするバクテリアが細胞内に侵入し、そこでこれらバクテリアの代謝産物として生成される  $S^{2-}$  や  $S^0$  が  $Fe^{2+}$  と直接反応して非晶質の  $FeS_2$  球状ゲルを形成すると考える<sup>19)</sup>。しかし、この考えはあくまでも仮説であり、今後究明されるべき問題である。

### 硫化物の分析と酸度の測定

これら土壌(地層)を利用し、管理してゆくためには、如何なる硫化物がどの程度存在し、最終的にはどれほどの酸が生成し、その pH はどの程度まで低下するのか、その酸性を中和するためにはどれほどの石灰資材が必要となるのかなど、それぞれの目的に応じた分析法の適用がなされることとなる。米田<sup>21)</sup>と村上<sup>20)</sup>はほぼ同じ頃に個別に干拓地の酸性硫酸塩土壌の耕地化に関する研究を行い、これら分析法に関する問題についても検討している。これらの研究を参照しつつ測定の方法や分析法の問題点などについてふれてみたい。なお、具体的な分析法についてはそれぞれの文献を参照されたい。

#### 1) 硫化物などの同定と定量

可酸化性硫黄としては  $FeS_2$ ,  $FeS$ , 単体硫黄, 有機態硫黄, まれには  $Fe_3S_4$  などの存在が知られている。有機態硫黄を除く他の化合物は結晶として存在することが多く、それらが多量に存在すれば直接的に X 線回折法によってその存在を確認できる(第 1 表, 第 2 図)。ここに挙げた事例は阿蘇カルデラ内の火山性硫黄に起因する酸性硫酸塩土壌<sup>17)</sup>であるが、多量のパイライトと単体硫黄, 硫酸第 1 鉄(全硫黄として約 10%)を含むものである。それぞれの化合物の含有量が多いため、風乾細土を直接 X 線回折法による同定に供試してもそれぞれの存在を確認



第 3 図 阿蘇カルデラ内の酸性硫酸塩土壌の X 線回折図  
A: 無処理細土, B: 水中分散 5  $\mu$  画分, C: 弗酸処理細土

しうる(A)。この試料を水中分散・分級することによって 5  $\mu$  以下の画分を供試すれば(B), 水溶性成分は消失し、弗酸処理を行えば(C)ケイ酸塩鉱物は消失して単体硫黄と pyrite が残留する。酸性硫酸塩土壌の pyrite 含有量は検出限界値(1~2%)附近の試料が一般的には多く、何らかの方法で濃縮することになる。 $FeS_2$  や単体硫黄は弗酸処理により、また  $FeS_2$  や  $FeS$ ,  $Fe_3S_4$  などはそれらの比重が大きい(4.5~5.1)ことを利用して重液(例えばテトラブromエタン S.G.=2.96)による分離が可能である。また、pyrite の同定はその形態の特徴から光学顕微鏡<sup>24)</sup>や EPMA<sup>17)</sup> などによっても可能である。

$FeS_2$  はこれを含む試料を弗酸分解処理を行い、塩酸洗じようすることによって濃縮・精製される。これを王水によって過塩素酸カリ共存下で分解し<sup>42)</sup>、生成した硫酸を  $BaSO_4$  の沈澱となし、重量法や比濁法<sup>3)</sup>で測定する。この中には単体硫黄や有機態硫黄も含まれるので、別途に求めたこれらの値を差し引くことになる。この方法はドラフトを必要とし、また操作が煩雑であること、酸性硫酸塩土壌の可酸化性硫黄が主として pyrite からなることなどを考慮して、過酸化水素処理による簡易測定法が提示されている<sup>30)</sup>。

$FeS$  は試料に 6N-HCl を加え、窒素ガス気流中で沸とうさせながら発生する  $H_2S$  ガスを酢酸亜鉛に吸収させ、沃素滴定を行う<sup>30)</sup>。

単体硫黄は試料を亜硫酸ソーダ溶液中で沸とう処理を行い、生成するチオ硫酸ソーダを沃素滴定する<sup>31)</sup>。

有機態硫黄は酸性硫酸塩土壌では pyrite の量に比べて概して少量であること、および有機物中の S/C 比がほぼ一定(約 0.01)<sup>47)</sup>であることか

第 1 表 硫黄化合物の X 線回折線 (d(Å)) とその相対強度 (I) (from ASTM)

Pyrite $FeS_2$		Greigite $Fe_3S_4$		Troilite $FeS^{1b)}$		Sulfur S		Jarosite <sup>2)</sup>		Ferrous Sulfate $FeSO_4 \cdot H_2O$ Sulfate $FeSO_4 \cdot 4H_2O$			
d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I
3.13	4	3.50	3	2.97	3	3.85	10	5.09	8	4.85	5	5.5	10
2.71	8	2.98	10	2.65	3	3.44	4	3.11	8	3.42	10	4.49	10
2.47	7	2.47	6	2.06	10	3.33	3	3.07	10	3.25	2	3.99	7
2.21	5	1.90	3	1.71	3	3.21	6	2.28	8	3.13	4	3.40	5
1.91	4	1.75	8			3.11	3	1.98	8	2.57	2	3.24	5
1.63	10							1.93	9	1.60	3	2.97	7
								1.83	8				

1) Pyrrhotite も同じ 2)  $KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$

ら、その量は有機炭素量から概算される<sup>30)</sup>。

## 2) 可酸化性硫黄や酸度の簡易測定法

酸性硫酸塩土壌の利用や管理に際しては短期間に多数の試料を分析する必要性が生じ、正確さのある程度犠牲にしても迅速な測定結果が求められる。例えば、可酸化性硫黄の酸化に際して、王水処理や畑状態30℃4週間培養法などに代わる過酸化水素処理法、または中和石灰量を求める緩衝曲線法に代わる滴定酸度法や全酸度法などの簡便法が考案されている。

a) 全酸度<sup>30)</sup>：これは中和石灰量の簡易測定法である。過酸化水素処理試料について、水溶性酸(活性酸)と土壌に吸着している酸(潜酸性)を求め、その含量が中和されるべき酸の総量とするものである。それは全酸度(S)=3.5y<sub>1</sub>+水溶酸、の式で表される。この値は緩衝曲線法で求めた値とよく一致するとされている。

b) 滴定酸度<sup>30)</sup>：これも中和石灰量の目安として用いられ、この値から下記の活性酸化性硫黄量が算出されている。これは過酸化水素処理後の試料懸濁液をろ過し、そのろ液について phenolphthalein を指示薬として N/10-NaOH 液で滴定するものである。この方法では水溶性酸のみしか測定されず、潜酸性相当分が欠落するという問題がある。それゆえ、水溶性酸が潜酸性を無視し得るほど十分に大きい、すなわち著しく強酸性を呈する試料では問題は少ない。

c) 活性酸化性硫黄<sup>30)</sup>：この値は、過酸化水素処理によって生成した全酸量の中で、試料中の塩基類によって中和された残りの酸量に相当する硫黄量を意味する。しかし、この値は前記滴定酸度の読み替え値であり、置換酸度相当分が欠落している。また、既に顕在化している酸性硫酸塩土壌では、前述の滴定酸度の読み替え値であるため、既存の水溶性酸をも取り込むことになる。

d) 易酸化性硫黄<sup>30)</sup>：この値は全酸化性硫黄の中で過酸化水素処理によって水溶性硫酸に変化した硫黄の量を意味する。要するに過酸化水素処理前後の水溶性硫酸の量を以って表される。この値は原則的には活性酸化性硫黄の量より大きくなるはずであるが、活性酸化性硫黄の値が滴定酸度の読み替え値であるため、既に強酸性化していた試料では既存の酸を取り込むことになり、逆転する場合もありうる。

e) 可酸化性硫黄<sup>30)</sup>：これは可酸化性硫黄を含むことが酸性硫酸塩土壌の特質であることから、その量を簡便に把握することを目的としている。この測定方法は前述の滴定酸度とほぼ同様に、過酸化水素処理液の水溶性酸について中和滴定用指示薬として、Bromcresol green (pH 5.2) が使用されている。その理由としては過酸化

水素分解濁液を phenolphthalein (pH 8.2) を指示薬として用いれば、未分解過酸化水素によるアルカリ消費があること、並びに終点が不明瞭であるためとされている。しかし、前記置換酸度の測定で phenolphthalein を用いた米田はほとんど問題にならないとしている<sup>49)</sup>。

強酸性化した土壌では酸性発現物質の主体は Al イオンであり、その中和滴定には phenolphthalein の方が望ましい<sup>53)</sup>。しかし、過酸化水素による可酸化性硫黄の回収率は7~8割とされ<sup>30,50)</sup>、その発現した酸性の中で水溶性酸の部分のみを測定するこれらの簡便法は、目的とする硫黄の5~6割をとらえていると考えられる。

f) 過酸化水素処理土の pH：可酸化性硫黄の酸化によって土壌が酸性化する場合の究極の pH を予測するために利用できる。過酸化水素は分解されれば炭酸ガスと水になり、その酸化力によって可酸化性硫黄の大部分を酸化し得るとされている。

## 耕地利用に伴う改良対策

このことに関する研究報告は国の内外に多数存在し、わが国では小林<sup>20)</sup>、入沢<sup>7)</sup>、米田<sup>51)</sup>、村上<sup>30)</sup>、佐々木<sup>36)</sup>らによる詳細な研究がなされている。ここでは村上が行った干拓地土壌の水田および畑利用に伴う酸性硫酸塩土壌の改良対策に関する成果を中心にその要点を述べる。

顕在化した酸性硫酸塩土壌では土壌 pH は 3.5 以下となり、H<sup>+</sup>、Al<sup>3+</sup>、Fe<sup>2+</sup>、Mn<sup>2+</sup>などが多量に生成され、これらは直接・間接に作物の生育阻害要因となり、耕地としての利用は困難となる。pyrite の酸化は主として微生物的 (Thiobacillus ferrooxidans) なものであり、水分が最大容水量の 20% 以下では酸化反応はほとんど進まず、64% で最適とされている。また、土壌 pH は中性付近では酸化反応速度は最も遅く、pH 4.0 以下の強酸性条件下で最も速いとされている。強酸性状態を改善するためには石灰資材の施用が、造成後間もない酸性硫酸塩土壌では 10 a 当り数トンの炭酸石灰の施用もめづらしいことではなく、労力的にも経済的にも負担が大きい。また、耕地への石灰資材の均一な混合も短期間では困難であり、耕土層に強酸性化する部分が多く残る。さらに干拓地では多くの塩類が残留する中で、物理性の改善が進まないという問題もある。そのため、造成後は直ちに石灰資材を施用・混合するのではなく、耕起し、放置することによって可酸化性硫黄の酸化を促進させ、明きよや暗きよの設置によって塩類や酸化生成物の除去に努めることが肝要とされている。

村上の試験によれば、夏期の乾燥する時期に月 1 回の割合で 3~4 回耕耘を行い、冬期に放置すれば春には石

灰資材を施用・混合することによって、水田としての利用はもとより、畑利用においても熟畑と同水準の収穫を得ることができた。しかし、耕耘・放置の期間が長期に及ぶと可溶性の  $Mn^{2+}$  は容易に溶脱されて、栽培作物に  $Mn$  欠乏症が出る恐れがあるという。また、活性化した  $Al$  や  $Fe$  が多いため、可給態リン酸の不可給態化が進みやすく、リン酸欠乏土壌となるので、リン酸資材の施用も不可欠の要件となる。さらに造成後間もない干拓地では基盤が軟弱なため深耕が難しく、浅い耕土層のみが改良され、かんばつ時には保水力の不足や下層土からの酸性物質や塩類の上昇による被害を受けやすくなる。それゆえ、耕土層を漸次深めてゆくことが必要である。

他方、台地・丘陵地の酸性硫酸塩土壌でも可酸化性硫黄の酸化分解の促進を造成直後に行うことが望ましい。しかし、これらは固結堆積物や堆積岩からなるため、これらの機械的な破碎による細粒化の促進と、腐植に乏しく土壌構造未発達の問題を改善するために、石灰やリン酸資材の施用はもとより、堆きゅう肥など有機物の連用による土壌緩衝力の増強対策が肝要となる。いずれにしても、可酸化性硫黄の酸化分解反応は2~3年にわたって徐々に進行していくので、その間の土壌反応の推移には十分な注意が払われねばならない。

## おわりに

酸性硫酸塩土壌の耕地化に伴う改良対策は多くの研究成果により確立されていると言えよう。そのため、これらの対策を採用し得る経済的な状況下にあるわが国では事前にその危険性を把握することさえできれば大きな問題となることはないと考えられる。しかし、往々にして施設整備が完了した後で作物の生育障害などの問題が発生することが多く、そのために改良対策が困難になる事例が少なくない。また海外の発展途上国では改良対策に必要な手段が経済的な側面から採用し得ない場合が多く、放置されることになる。一方、建築物や埋設物に対する被害防止策としては事前に察知することが不可欠の対応策といえる。基本的には埋設物の周囲の地層を嫌気的な条件のままに維持することができれば被害の発生は防止できるのであるが、存外それが難しい。そのため、合成被覆材などで埋設管を保護することが考えられている<sup>13)</sup>が、その必要性を選択するためにも危険な地層の分布実態を事前に探知することが必要となる。

(九州農業試験場土壌特性研究室長)

## 引用文献

- 1) Bloomfield, C. et al (1973) *Advances in Agronomy* **25**, 265~326
- 2) Dost, H. (Ed.) (1972) *Acid Sulfate Soils*, 1 & 2, Wageningen Publ. 18
- 3) Edelman, C. H. (1952) *Soil Sci.*, **74**, 15~20
- 4) 日嶽義満ら (1956) *九州農業研究* **18**, 1~5
- 5) 平峯重郎ら (1970) *茶業技術* **39**, 32~40
- 6) 市原 実 (1984) *URBAN KUBOTA* **23**, 44~47
- 7) 入沢周作 (1957) 低位生産地調査事業 10周年記念論文集 748~768
- 8) Ivarson, K. C. et al (1976) *Can. J. Soil Sci.*, **56**, 393~406
- 9) Jackson, M. L. (1958) *Soil Chemical Analysis*, 263~265 Prentice Hall
- 10) 加村崇雄 (1986) *URBAN KUBOTA* **25**, 50~52
- 11) Kanno, I., et al (1963) *Bull. Kyushu Agri. Exp. Sta.* **9**, 27~49
- 12) 粕野義夫 (1984) *URBAN KUBOTA* **23**, 36~39
- 13) 片野幸雄ら (1984) 同上 **23**, 52~56
- 14) 片山信夫ら (1970) *新版地学辞典 II*. p. 57 古今書院
- 15) Kato, G. (1967) *Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ. Ser. D, Geology* **18**, 313~330
- 16) — (1970) 同上 **20**, 73~84
- 17) 川崎弘ら (1976) *九州農試報告* **18**, 271, 292
- 18) — (1978) 同上 **19**, 383~404
- 19) 川崎 弘 (1988) 同上 **25**, 77~93
- 20) 小林 嵩 (1951) 湖沼の干拓地の不良土壌の改良に関する研究 58 p 農林省農地局資源課
- 21) 小林嵩ら (1953) *九州農業研究* **12**, 61~62
- 22) 小林 嵩 (1980) *南九州大学園芸学部研究報告* **10**, 37~49
- 23) — (1982) 同上 **12**, 19~29
- 24) — (1982) 同上 **12**, 41~50
- 25) 久保田鉄工 (1986) *URBAN KUBOTA* **25**, 56 p
- 26) 久馬一剛 (1984) 酸性土壌とその農業利用 101~142 博友社
- 27) — (1986) *URBAN KUBOTA* **25**, 2~7
- 28) 前田保夫ら (1982) *第四紀研究* **21**, 195~201
- 29) Moorman, F. R. (1963) *Soil Sci.*, **95**, 271~275
- 30) 村上英行 (1965) 酸性硫酸塩土壌の特性とその改良法に関する研究 148 p 学位論文
- 31) — (1967) *土肥誌* **38**, 117~120
- 32) 中井信之ら (1982) *第四紀研究* **21**, 169~177
- 33) 熱帯農業研究センター (1986) *熱帯農研集報 No. 57*
- 34) Pons, L. J. (1964) Jongerius, A. (Ed.) *Soil Micromorphology*, Elsevier, Amsterdam, 401~409
- 35) 齊藤万之助 (1987) *土木試験所月報 No. 412*, 41~42
- 36) 佐々木信夫 (1977) 岩手県農試研究報告 **20**, 23~54
- 37) 千手正美 (1977) 筑後川農業水利誌 p. 29 九州農政局
- 38) 志賀一 (1978) *土壌養分分析法* p. 74 養賢堂
- 39) Sugawara, K. et al (1953) *J. Earth Sci. Nagoya Univ.*, **1**, 17~23
- 40) 鈴木敬治 (1984) *URBAN KUBOTA* **23**, 32~39
- 41) 玉虫文一ら (1977) *理化学辞典* p. 183 岩波書店
- 42) Treadwell, F. P. et al (1953) *Analytical Chemistry II*, 8th ed. 332~333 John Wiley & Sons
- 43) 塚本正一郎ら (1957) *土肥講要集* **3**, 9
- 44) USDA (1975) *Soil Taxonomy*, 754 p
- 45) Van Breemen, N. et al (1978) *Soil and Rice*, 739~761, IRRI Philippines
- 46) Wada, H. et al (1988) Dost, H. (Ed.) *Acid Sulfate Soils*, ILRI Wageningen Publ. **44**, 24~37
- 49) Whitehead, D. C. (1964) *Soils and Fertilizers* **27**, 1~8
- 48) Yamane, I. (1970) *Rep. Inst. Agri. Res. Tohoku Univ.*, **21**, 39~63
- 49) 米田茂男 (1961) *農業及園芸* **36**, 1581~1584
- 50) — (1961) *岡山大学農学部学術報告* **17**, 39~46
- 51) — (1964) *干拓地土壌* 183 p 中国四国農政局
- 52) 山野井徹 (1989) *URBAN KUBOTA* **28**, 10~15
- 53) 吉田総ら (1968) *土肥誌* **39**, 176
- 54) 湯村義男 (1975) *中部の土壌と農業 (土肥学会編)* 64~67
- 55) Zuur, A. J. (1952) *Soil Sci.*, **74**, 75~89