

微量元素よもやま話 [3]

セレン

京都大学名誉教授

高 橋 英 一

セレンという元素

セレンは酸素族の第三番目の元素で、二番目の硫黄、四番目のテルルと似た性質があります。1818年スウェーデンのベルセリウス (Berzelius) は、硫酸工場の鉛室からテルル*1を分離しようとして、たまたまこれとよく似た新元素が混在していることを発見し、テルル (地球の意) との類似からギリシャ語の月 (selenus) に因んでセレンと命名しました。硫黄のsulfurには「燃える」あるいは「火の元」の意味があるので太陽 (日) に当たる

とすれば、硫黄、セレン、テルルは日、月、地球の三兄弟になぞらえることができます。

セレンは物理的、化学的性質は硫黄によく似ていますが、地球上における存在量は硫黄に比べて極めて僅かです (表1)。しかしその存在は無視できるものではなく、次に紹介するように動物にセレンの過剰や欠乏を引き起こす地域は、地球上のかなり広範囲に分布しています。

セレンと風土病—セレンの過剰と欠乏—

セレンの過剰

1275年に書かれたマルコポーロの旅行記に、つぎのようなくだりがあります。

It is a fact that when they take that* road they can not venture among the mountains with any beast of burden** excepting those accustomed to the country, on a account of a poisonous plant growing there, which if eaten by them has the effect of causing the hoofs of the animals to drop off. Those of the country, however, being aware of dangerous quality, take care to avoid it.

表1. 自然界における硫黄(S) およびセレン(Se)の存在濃度の比較

	S ppm	Se ppm	S/Se比
火成岩	260	0.05	5,200
土 壤	700	0.2	3,500
被子植物	3,400	0.2	17,000
哺乳動物	5,400	1.7	3,200

(Bowen: Trace Elements in Biochemistry
Academic Press 1966)

本 号 の 内 容

§ 微量元素よもやま話 [3]	1
セレン	
京都大学名誉教授	
高 橋 英 一	
§ ミカン根中デンプン含有率に基づく 次年着花量の予測	5
静岡県柑橘試験場伊豆分場	
分 場 長 杉 山 和 美	
§ 2006年本誌既刊総目次	11

(The Travels of Marco Polo, William Marsden による英訳
*チベット北方の甘肅省肅州のアルカリ土地地帯を通る道
**ウマ, ロバ, ラバなどの荷物運搬用動物)

「肅州の山々は薬草のダイオウを豊富に産するので、商人達がこれを求めにやってくる。ところがその辺りには、動物が食べると蹄が抜け落ちる毒草が生えていて危険である。しかし土地育ちの動物はそれを知っているので被害を受けることはない。それでこの地を通る旅行者は、必ず現地産の荷馬を使う。」

降って1856年8月、アメリカの一軍医であったMadisonは、現在のサウスダコタ州中央を流れるミズリー川西方にあった砦Fort Randallで、これと同様な症状（蹄の脱落、脱毛、びっこ、そして死に至る）を騎兵隊の軍馬に認め、その詳細を記録しています。しかも彼はその原因は牧草にあると看破しました。

その後アメリカ中西部のアルカリ大草原地域の家畜に見られるようになったこの風土病は、アルカリ病と呼ばれ、その原因については飲み水中のアルカリ分や地表に析出した塩（大部分は硫酸塩）、あるいは穀類についたカビなどいろいろな憶測がされました。しかし1929年に始まったアメリカ農務省およびサウスダコタ、ワイオミングの州立試験場による一連の動物実験の結果、セレンがその主因であることが明らかにされました。

一般の土壤のセレン濃度は0.2~0.4ppm程度で非常に低いが、母材や生成条件によっては通常の数倍ないし数十倍も高い「富セレン土壤」とよばれる特殊な土壤が存在します（表2）。

表2. 土壤・植物中のセレン濃度

通常の土壤	平均0.2ppm
富セレン土壤	1~20ppm
通常の土壤に生育している植物	平均0.2ppm
富セレン土壤の非集積種	数~数十ppm
富セレン土壤の集積種	数百~数千ppm

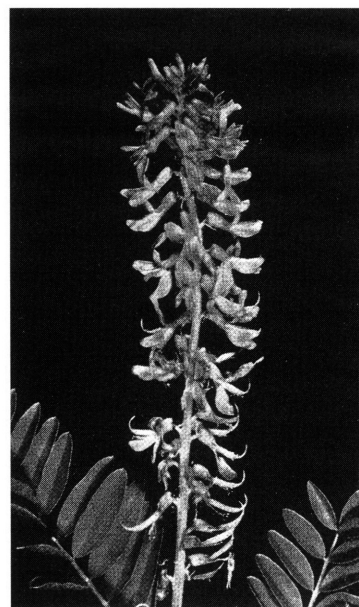
わが国にはこのような土壤はありませんが、世界的にはかなり広い面積が分布しています。アメリカ中西部のアルカリ大平原やマルコポーロの旅行記にでてくる中国北西部のアルカリ土地地帯では、セレン濃度が高い上に可溶性のセレン酸ナト

リウムや亜セレン酸ナトリウムとして存在し、植物に吸収されやすいため、それを食べた家畜に過剰害を引き起こします。一方自生植物の方はセレンに耐性があります。

セレンの過剰害には慢性のものと急性のものがあります。慢性中毒（アルカリ病）は発育遅延や蹄や体毛の異常脱落を起こしますが、急性中毒（暈倒病など）では中枢神経の損傷によって随意筋の失調をきたし、そのためによろめいたり物にあたりたりし、最後には麻痺をおこして死にます。これはセレン集積性の植物を食べた場合に起こります。非集積性の自生植物のセレン濃度は35ppmを超えることはまれであるのに対して、集積種では数千ppmに達します（写真）。

写真. セレン集積性のレンゲの一種

Astragalus bisulcatus
(Rosenfeld and Beath 1964)



セレンは生物体内で同族元素の硫黄と同じような仕方で代謝され、含硫アミノ酸に対応する含セレンアミノ酸を生じます。その中でタンパク質構成含硫アミノ酸（メチオニンおよびシステイン）に相当する含セレンアミノ酸（硫黄原子がセレン原子に置き換わったセレンメチオニンおよびセレンシステイン）はタンパク質に取り込まれますが、機能的には含硫アミノ酸の場合と異なるので、代謝異常を引き起こして枯死してしまいます。非集積種が集積種のような高いセレン濃度を示さない

のはそのためです。

ところが集積種はセレンをタンパク質に取り込まれないタイプの含セレンアミノ酸（例えばセレンメチルセレンシステイン，セレンホモシステイン）にします。そのため害を受けることなく吸収し続けることができ、これを液胞の中に蓄積します。しかしこれを食べた家畜は、タンパク質に取り込まれる含セレンアミノ酸に変えてしまうために中毒を起こします。

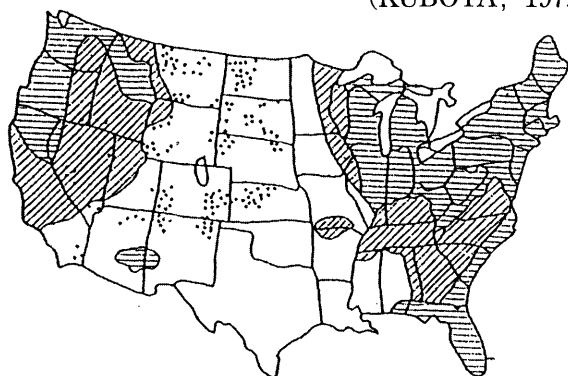
もっとも家畜のセレン中毒は昔ほど問題ではなくなっています。家畜は草が十分にあるときはセレン集積種をさけるからです。現在ではむしろ次に述べるセレン不足の方が問題になっています。

セレンの欠乏

アメリカ合衆国の大西洋，太平洋沿岸地域には家畜の筋肉白化症という風土病がありました。これははじめビタミンE欠乏症と考えられていまし

図1 (A). アメリカ合衆国のSe分布図

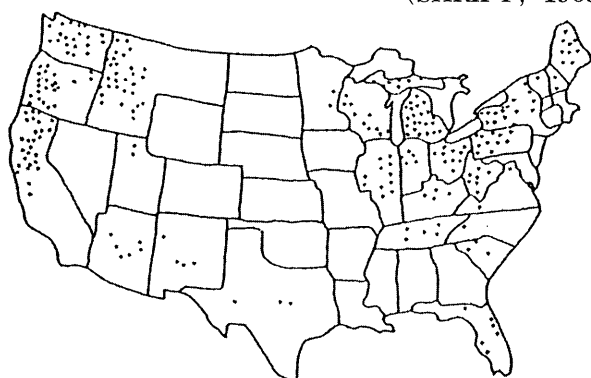
(KUBOTA, 1972)



- ▨ 植生の80%が0.05ppm以下のSe含量…貧Se地域
- ▨ 植生の50%が0.1ppm以上のSe含量…中間Se地域
- ▨ 植生の80%が0.1ppm以上のSe含量…富Se地域
- 50ppm以上のSeを含有する植物生育地点

図1 (B). 筋肉白化症の発生分布図

(SHRIFT, 1969)

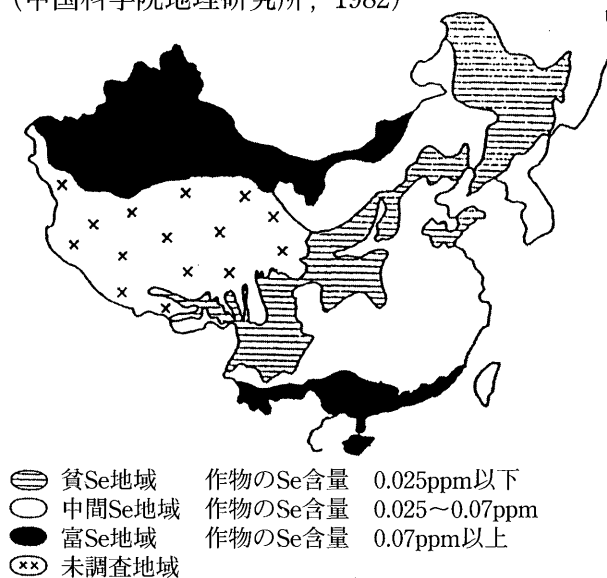


たが、ビタミンE以外に少量のセレンの投与が有効で、牧草中のセレン含量が0.05ppm以下のとき起こりやすいことが判明しました (図1A, B)。

また中国の東北部から南西の雲南省に至る带状地域に、”克山病” *2というヒトの風土病（一種の心筋症）がありました。当該地域の作物および患者の血液や毛髪中のセレン濃度が低いことから、セレン投与を行ったところ顕著な効果のあることが認められ、セレン欠乏に起因するものと考えられました (図2A, B)。

図2 (A). 中国土壤のセレンウム分布図

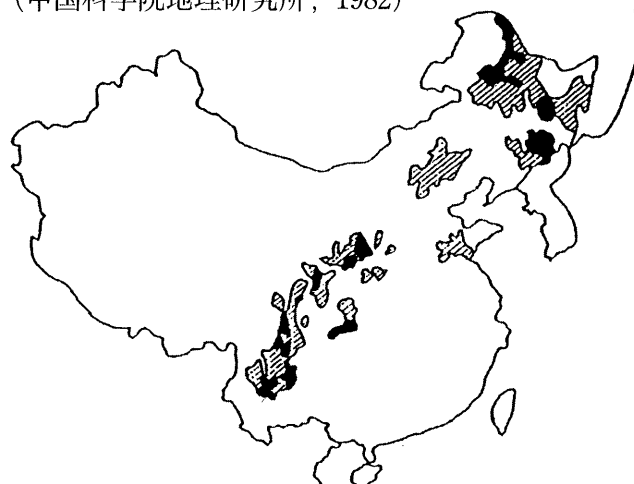
(中国科学院地理研究所, 1982)



- ▨ 貧Se地域 作物のSe含量 0.025ppm以下
- ▨ 中間Se地域 作物のSe含量 0.025~0.07ppm
- 富Se地域 作物のSe含量 0.07ppm以上
- ⊗ 未調査地域

図2 (B). 中国の克山病発生地分布図

(中国科学院地理研究所, 1982)



- 重度の克山病発生地域
- ▨ 軽度の克山病発生地域

セレンの生理的役割としては、体内の過酸化物を除く作用を持つ酵素であるグルタチオンペロオキシダーゼ*3の構成元素であることがみいだされ、細胞膜のリン脂質の酸化を防ぐことに寄与していると考えられています。

広大な国土を持つアメリカや中国では、動物にセレンの過剰害を引き起こす地域と欠乏症を引き起こす地域が併存しています。このようにセレンをはじめ、富セレン土壌—セレン集積植物という特殊な生態系を介して家畜の毒物として登場しましたが、その後セレンは家畜やヒトの微量必須元素という地位を獲得しました。まさに”毒は薬(あるいは薬は毒)”の諺の通りであり、セレン摂取量の多少が問題でありました。

これに対して一般の農耕地では、作物そのものにセレンの欠乏や過剰による障害は知られていません。植物とセレンの関係が家畜に対する影響を通じて注目されるようになったのは、モリブデンの場合と似ていますが、セレンの場合は植物と動物との許容量の差異だけでなく、セレンを異常に蓄積する植物の存在が、問題を大きくしました。そして集積植物への実際的な関心や、生理生化学的な面からの興味もたれるきっかけになりました。

土と健康

土壌に起因する家畜の疾病(風土病)が主に欧米で明らかにされていった背景には、わが国と異なり耕地にまさる大面積を占める草地に家畜の放牧が行われてきた歴史があると思われます。これらの家畜は放牧された土地に生えている草で養われることが多いので、土壌の影響を受けやすくなります。「土は草を養い、草は家畜を養い、家畜は人を養う」という西洋の諺も、このような事情から生まれたものでしょう。

また草地は一般に耕地に不適當なところに拓かれるので「問題土壌」を含む場合が多く、いろいろな疾病を引き起こす原因になったと思われます。これに比べてわが国のように、土地と直結し

た家畜飼養の行われることが少なく、外国から輸入した飼料で肥育する場合の多いところでは、土壌との関係が見えにくくなります。

家畜におけると同様な問題は人間にも起こる可能性があります。たとえば辺境の農村などで閉鎖的な経済社会を構成しているところでは、地域単位で”土—作物—家畜—人”の物質循環が成立するので、問題土壌を抱えている場合にはそれに起因する風土病が起きやすくなります(中国の克山病、スコットランドの土食い症*4など)。

一方わが国などの先進工業諸国では、鉱山や工場からの廃水に含まれている有害元素の生活環境への流入による被害があります(カドミウムによるイタイタイ病、水銀による水俣病など)。下水道の普及による下水汚泥の農地還元も、その中に含まれている微量有害元素の影響が問題になる可能性があります。さらに今後も続く世界人口の増加に対処するためには、土地生産性の向上とともに農地の拡大も必要ですが、残された土壌には「問題土壌」が多い悩みがあります。

*1 1782年ミュラー(Muller, ドイツ)がピスマス鉱から発見し、1789年クラプロート(Klaproth, ドイツ)はこれが新元素であることを確証し、ローマ神話の大地の女神で地球をも意味するTellusに因んでテルルと命名した。クラプロートは10年前にウランを発見し、これをその数年前に発見された新星Uranus(天王星)に因んで名付けたことに対応して、地の神の名を与えたのである。

*2 Keshan Disease; 発生地は黒竜江省克山県に因む。

*3 グルタチオンペロオキシダーゼは、グルタチオンの存在下で有機過酸化物を分解する作用があり、赤血球や各種臓器に分布し、有機過酸化物による生体膜の損傷を防ぐ役割をしている。

*4 スコットランドのコバルト欠乏地帯に生活している子供達には”geophagia(土食症)”という風土病がみられ、コバルトの経口投与が有効であることが報告されている。