

(シタ植物園)

# 植物と金属

引地 宏

(福島高専工業化学科)

はじめに

いわき市は自然環境にめぐまれ、その中で生活をしていると植物が快適な環境を形成していることすら、あまり感じられない。しかし、東京の都心部や川崎の工場地帯に行くと良くわかる。室内や屋上にミニ植物園を作り、少しでも快適な雰囲気をかもし出そうとしている。

米国でも、ネバタ州のラスベガスやカリフォルニア州のリヴァサイド（ロサンゼルスから約100km東方にある街）へ行くと乾燥地帯で人間がとても住めそうもない所に植物を植え、一日三回散水し、大切に大切に育てている。気温43℃の炎天下に、リヴァサイドのメインストリートを約1km歩くのに45分もかかって歩いたことが今でも忘れることができない。5m毎に植えられたシュロの木蔭で休み休み歩かないと頭や手足が痛くなる。1kmばかりタクシーに乗るのもおかしいと思い、つい歩いてしまったが、あまりにも暑く、一瞬当惑してしまった。路面からの反射熱を避けるため、芝生に入ったらポリスマンに注意された。そして、植物が如何に大

切であるか身にしみて感じる事ができた。

いわきの財産でもあるこの自然環境を如何に保存して行くかが、私達に与えられた課題であらう。そこで、植物が私達の住んでいる環境を如何に改善しているかを考えてみたいと思います。

人口が増え、産業が発展し、生活水準が上昇すると大気がよごれ、水がにごり、土壌が汚染される。そのため、生産工場では少しでも排出量を減少する努力がなされてきた。また、市や県の処理場では排出物を回収し、中間処理を行なっている。しかし、植物も大気や水をきれいにし、土壌中の有害な重金属を吸収していることを忘れてはならない。植物には環境の変化に強いもの（カイヅカイブキ、ツバキ、イチョウなど）と著しく弱いもの（クロマツ、スギ、アカマツ、ナナカマドなど）がある。また、都市化が進むとアオキやシュロが異常に繁殖する。

今回はとくに、私が興味を持って調べてきた「植物と金属」について書かせて頂きます。

## 植物の必須金属元素と有用金属元素

植物体の大部分は水であり、骨格は炭素と水素が中心である。そして、植物が生長し、活動するためには窒素、リン、カリウムの他に、多くの金属元素も必要となる。

○多量必須金属元素として

カリウム・カルシウム・マグネシウム

○微量必須金属元素として

鉄・銅・マンガン・亜鉛・モリブデン・コバルト・バナジウム・ナトリウム・ガリウム

さらに、ある環境の下ではお互いに代替性を示



(リヴァサイドのメインストリート)

す金属元素がある。

バナジウム——モリブデン

ストロンチウム——カルシウムの一部

ルビジウム・ナトリウム——カリウムの一部

また、アルミニウムはリン酸の吸収を促進することから

○有用金属元素として

アルミニウム・ストロンチウム・ルビジウムがあげられる。

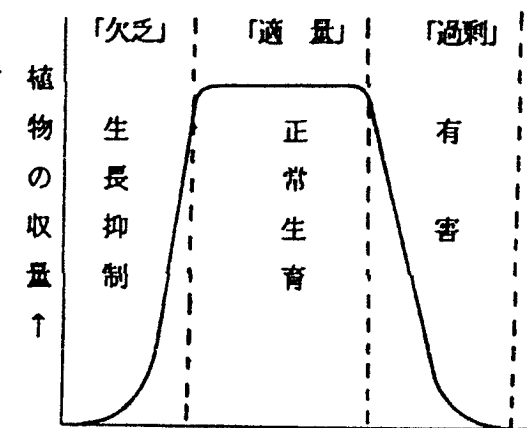
なお、クロム・錫・ニッケルはある種の動物には必須であるが、植物についてはその必須性が証明されていない。

### 植物の生長におよぼす金属元素の影響

植物の種類によって金属元素の感受性は多少異なるが、一般に微量で有害性のある金属を毒性金属元素という。その毒性の機構については未解明ではあるが、銀・カドミウム・銅・水銀・鉛の各イオンは細胞膜の透過性を阻害するためであろうと思われる。そして、その毒性の強さは金属元素の存在状態（化合物の形態）によって変動する。

また、必須金属元素においては欠乏による生長抑制と過剰による障害がおこる。

#### (A) 必須金属元素

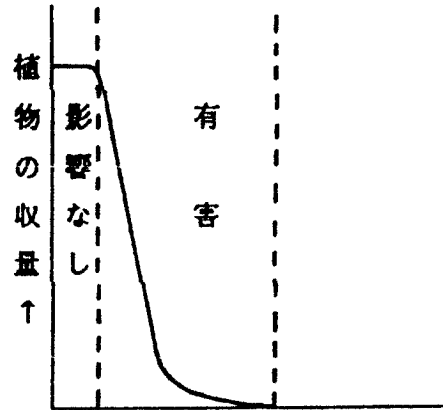


→土壤（培養液）中の金属濃度

図1 植物の生長に対する必須金属の影響

多量必須金属元素では適量範囲が広く、微量必須金属元素では狭くなる。

#### (B) 毒性金属元素



→土壤（培養液）中の金属濃度

図2 植物の生長に対する毒性金属の影響

例えば、種子植物の生長におよぼす金属元素の濃度の影響をみると次の表のようになる。

表1 種子植物に対する培養液中の金属元素の濃度(mg/l)の影響

金属元素		欠乏	正常生育	有害
毒性元素	As (III)		<0.02	0.02 ~ 7.5
	Cd		<0.05	0.2 ~ 9
	Ni		<0.5	0.5 ~ 2
	Pb		<3	3 ~ 20
必須元素	K	0.03 ~ 0.12	0.1 ~ 320	500 <
	Ca	0.015 ~ 4	0.12 ~ 200	500 <
	Fe	<0.5	0.5 ~ 5	10 ~ 200
	Cu	<0.01	0.01 ~ 0.1	0.5 ~ 8
	Zn	<0.0006	0.002 ~ 0.2	6 ~ 400

すなわち、種子植物に対する毒性は



となる。

#### 集積植物と指標植物

ある種の植物は土壤から特定の金属元素を異常に多量吸収する。このタイプの植物を生物地球化学的指標植物あるいは集積植物という。

耶麻郡磐梯町の日曹金属（株）会津精練所から東部地域に群生しているシダ植物ヘビノネゴ

ザを調べると、カドミウムが異常に多く、根にはCd : 80 ~ 140 (mg/kg)、葉にはCd : 120 ~ 260、Cu : 15 ~ 30、Zn : 600 ~ 1,200 (mg/kg) 含まれていたが、その後年々減少している。

また、金沢大学のキャンパス（旧金沢城で、鉛瓦葺の屋根が火災で溶け鉛が流れ落ち、土壌が鉛で相当汚染されている）に群生しているヘビノネゴザの地下部（根茎と根）には鉛が93 ~ 11,000 (mg/kg新鮮物換算) 含まれていたことが報告されている。

さらに、島根県津和野の笹ヶ谷鉱山廃坑周辺に群生しているヘビノネゴザの葉にヒ素が200 ~ 400 (mg/kg) 含まれていたことが報告されている。

我々の調査した結果ではヘビノネゴザが群生している場所の土壌には重金属が多量含有していることが一般的である。しかし、いわき市に生えているヘビノネゴザ（一部）について調査したが、重金属含量の多いものは見つかっていない。また、非汚染土壌地区のヘビノネゴザに重金属を与えてもほとんど吸収せず、耐性ができるまで2~3年かかるようである。

そして、ヘビノネゴザがなぜ多量の重金属を吸収できるのか、体内でどんな重金属化合物を形成するのか、現在検討中である。

重金属の集積植物、感受性植物、耐性植物として報告されている主なものに、次のような植物がある。

表2 重金属の集積植物と感受性植物

重金属	集積植物	感受性植物
Cu	ナデシコ、センノウ	アルファアルファ
Ni	ニワズナ、カバノキ	オートムギ
Cd	ヘビノネゴザ、キンショウブ	キク、大豆
Co	リョウブ、ヌマミズキ	
Pb	フキタンポポ、ヘビノネゴザ	

表3 植物の重金属耐性

重金属	耐性大	耐性中	耐性小
Ni	大麦、小麦	キャベツ、ジャガイモ、クローバー	ビート
Cd Zn	イネ、小麦、ヌカボオオイトドリ	トマト、ニンジン、サツキ、ツゲ	キュウリ、大豆、ツツジ、キク
Cd	トウモロコシ、セイトカアワダチソウ	エンドウ、インゲン	大根、ヒマワリ

以上のように、カドミウム・銅・亜鉛・鉛などの重金属で汚染された土壌に対する植物の反応には、次の三つのタイプがある。

- (1) イネ科植物（ヌカボ、ススキ）、オオイトドリのように土壌中の金属をあまり吸収しないため、汚染地区でも良く生育できるもの。
- (2) ヘビノネゴザ、ヨモギのように重金属を多量吸収し蓄積するが、耐性があり旺盛に生育するもの。
- (3) ヒマワリのように、土壌から重金属を比較的多量に吸収するが、耐性が小さく汚染地区には生育できないもの。

ここで、(1)および(2)のタイプは自然の植生より土壌の重金属を検知する植物指標として有用である。

(3)のタイプは、植物を測定箇所配置的に植えて、その生育から土壌の重金属汚染を知る植物計として利用することができる。

#### 作物への重金属の吸収

私達日本人の主食であるお米の中のカドミウムについては、誰でも関心を持っていることと思います。

富山県中央部の神通川流域では、カドミウム汚染米と汚染された飲料水を長期間にわたって摂取したために発生したイタイイタイ病は世界中的話題となった。いわき市でも、小名浜地区で

準汚染米が検出され、我々も調査したことがある。それ以来関心があり、水耕法でイネを栽培し、カドミウム・銅・亜鉛・鉛・ニッケルなどの吸収機構と体内中に存在する重金属化合物の構造について調べています。



(イネの水耕栽培実験装置)

植物の根の表面には負電荷が存在し、金属イオンの吸収に影響を与える。この負電荷の密度すなわち陽イオン置換容量（CECと略記）は植物の種類によって異なる。双子葉植物に比較して単子葉植物はCECの値が小さい。イネは23.7 (meq/100g)と小さく、金属イオンの吸収力が弱い。

根の表面から吸収された重金属イオンは皮層の細胞壁を通るか、細胞質連絡を通過して内皮層に到達する。ここにはカスパリ帯という不透水性の特殊な構造があり、ここを通過することによって中心柱の導管に達し、地上部（茎・葉）へ運ばれる。

これまでの調査では、イネは重金属に対して適応性があり、根に吸収した亜鉛イオンは約45%、ニッケルイオンは約20%、銅イオンは約10%地上部へ移動するが、カドミウムイオンは5%以下である。また、重金属イオンは皮層中を移動する過程で細胞壁を構成しているアミノ酸と結合する。特に、低分子量の特異なタンパク質、（システイン、グルタミン酸、グリシンが中心のアミノ酸から成るメタロチオニン）を生成すると、結合して安定な重金属化合物を形成して毒性をやわらげると同時に細胞壁の通過が困難となる。そのため、根から吸収する重金属の

量が抑制される（耐性を示す）のであろう。

一方、葉・基部ではメタロチオニンを生成することができず、重金属の移動が比較的容易であることがわかった。

大気中の重金属を含むエアゾールが気孔から吸収されると、その一部は転流によって篩管を通り子実（玄米）へ移動する。

玄米はイネの体の中で最後に形成される若い部分で、出穂10日後（最も旺盛に生長する時期）にカドミウムや亜鉛が最も多く転流することが報告されている。

以上のことから、カドミウム汚染米の汚染経路を追求することは比較的容易であると思われる。なお、詳細については省略させていただきます。

#### おわりに

いわき市の環境マップを作成することは大切であり、土壌および指標植物（地衣類を含む）中の重金属濃度分布や街路樹の重金属含量について調査する必要があると考え、現在計画中である。試料の収集に協力して頂ければ幸いです。

また、ゴミ処理場の燃焼灰、下水処理場の活性汚泥、河床の汚泥等の終末処理法において、その中の重金属の挙動が問題になると思います。先に記載した米国のカリフォルニア州立大学リヴァサイド校の土壌・環境科学科を訪問した目的の一つに、燃焼灰および河床の汚泥を畑地に利用し、作物への影響について研究しているF. T. Bingham 教授の研究室や農園を見学することであった。教授からの詳しい説明を聞き、参考になった点もあり、今後、機会があったら検討したいと考えています。