

特集 大気環境における無機元素の重要性

3 Li リチウム	4 Be ベリリウム															5 B ホウ素	6 C 炭素	7 N 窒素	8 O 酸素	9 F フッ素
11 Na ナトリウム	12 Mg マグネシウム															13 Al アルミニウム	14 Si ケイ素	15 P リン	16 S 硫黄	17 Cl 塩素
19 K カリウム	20 Ca カルシウム	21 Sc スカンジウム	22 Ti チタン	23 V バナジウム	24 Cr クロム	25 Mn マンガン	26 Fe 鉄	27 Co コバルト	28 Ni ニッケル	29 Cu 銅	30 Zn 亜鉛	31 Ga ガリウム	32 Ge ゲルマニウム	33 As ヒ素	34 Se セレン	35 Br 臭素				
37 Rb ルビウム	38 Sr ストロンチウム	39 Y イットリウム	40 Zr ジルコニウム	41 Nb ニオブ	42 Mo モリブデン	43 Tc テクネチウム	44 Ru ルテチウム	45 Rh ロジウム	46 Pd パラジウム	47 Ag 銀	48 Cd カドミウム	49 In インジウム	50 Sn スズ	51 Sb アンチモン	52 Te テルル	53 I ヨウ素				
55 Cs セシウム	56 Ba バリウム	57~71 ランタノイド	72 Hf ハフニウム	73 Ta タンタル	74 W タングステン	75 Re レニウム	76 Os オスミウム	77 Ir イリジウム	78 Pt 白金	79 Au 金	80 Hg 水銀	81 Tl タリウム	82 Pb 鉛	83 Bi ビスマス	84 Po ポロニウム	85 At アスタチン				

大気汚染防止法
規制対象物質

有害大気汚染物質
（優先取組物質）

有害大気汚染物質に
該当する可能性がある物質

3 Li リチウム	4 Be ベリリウム															5 B ホウ素	6 C 炭素	7 N 窒素	8 O 酸素	9 F フッ素
11 Na ナトリウム	12 Mg マグネシウム															13 Al アルミニウム	14 Si ケイ素	15 P リン	16 S 硫黄	17 Cl 塩素
19 K カリウム	20 Ca カルシウム	21 Sc スカンジウム	22 Ti チタン	23 V バナジウム	24 Cr クロム	25 Mn マンガン	26 Fe 鉄	27 Co コバルト	28 Ni ニッケル	29 Cu 銅	30 Zn 亜鉛	31 Ga ガリウム	32 Ge ゲルマニウム	33 As ヒ素	34 Se セレン	35 Br 臭素				
37 Rb ルビウム	38 Sr ストロンチウム	39 Y イットリウム	40 Zr ジルコニウム	41 Nb ニオブ	42 Mo モリブデン	43 Tc テクネチウム	44 Ru ルテチウム	45 Rh ロジウム	46 Pd パラジウム	47 Ag 銀	48 Cd カドミウム	49 In インジウム	50 Sn スズ	51 Sb アンチモン	52 Te テルル	53 I ヨウ素				
55 Cs セシウム	56 Ba バリウム	57~71 ランタノイド	72 Hf ハフニウム	73 Ta タンタル	74 W タングステン	75 Re レニウム	76 Os オスミウム	77 Ir イリジウム	78 Pt 白金	79 Au 金	80 Hg 水銀	81 Tl タリウム	82 Pb 鉛	83 Bi ビスマス	84 Po ポロニウム	85 At アスタチン				

必須元素（ヒト）

必須元素（動物）

桜井 弘 著、生命元素辞典(平成18年)に従い作成

特集

大気環境における無機元素の重要性

■無機元素とは■

表紙の口絵に、必須元素（ヒト及び動物に対する）と、日本で有害大気汚染物質に該当すると考えられている元素を周期表上に色付けて示しました。必須元素は青系の色、有害元素は赤系の色を付けてあります。そこで、必須元素の周期表と有害物質の周期表をよく見比べてみると、いくつかの元素は、どちらの表でも色つきになっています。そう、元素によっては必須性と毒性を併せ持つのです。どのような物質も、摂取量に応じ毒性を持つ一方、人体に必須であるものも多く、必要摂取量と毒性発現量が近いものも存在します。あるいは、有害性のみを持つと思われる元素でも、今後の研究の中で人体に必須であることが判明する日がくるかもしれません。元素の中でも生物の体を形成する水素、炭素、酸素及び窒素など有機物を構成する主要な元素や、反応性に乏しい希ガスなどを除いた、有害な元素を含む元素群があります。これらの多くは金属元素ですが、ヒ素など非金属元素を含みますので、「金属」や「重金属」では紛らわしく、便宜上「無機元素」と呼んでいます。

■無機元素の有害性■

当センターでは、様々な研究業務の中で無機元素成分の分析を行っています。その理由の第一として、無機元素及びその化合物の持つ毒性があります。大気環境に関しては、継続的に摂取される場合に人の健康を損なうおそれがある物質で、大気汚染の原因となるものが有害大気汚染物質とされています。これに該当する可能性がある物質として、亜鉛、アンチモン、インジウム、銀、コバルト、セレン、タリウム、銅、バナジウム、ほう素、モリブデン及びこれらの化合物が挙げられています。また、中でも物質の有害性の程度や我が国の大気環境の状況等に鑑み、健康リスクがある程度高いと考えられる有害大気汚染物質は優先取組物質に指定されています。ニッケル、ヒ素、ベリリウム、マンガン、水銀、クロム及びこれらの化合物などが該当し、このうちニッケル、ヒ素、ベリリウム、及びクロムについては発がん性があることが分かっています。また、鉛及びカドミウムには排出規制があります。

■個々の無機元素の毒性・必須性■

表1に、無機元素の必須性と発がん・非発がん毒性を示します。これらの元素のうちいくつかは必須性の

表1 無機元素の必須性と発がん・非発がん毒性

	必須性		非発がん毒性	発がん
	ヒト	動物		
ベリリウム Be			吸引による肺炎など	1
クロム Cr	◎	○	皮膚障害など	1(6価クロム)
マンガン Mn	◎	○	神経毒性など	分類できず (アメリカ環境保護庁)
ニッケル Ni	◎	○	組織に障害、アレルギーなど	2B(単体) 1(化合物)
ヒ素 As		○		1

国際がん研究機関の発がん性リスク分類：
 1 ヒトに対する発癌性が認められる
 2A ヒトに対する発癌性がおそくある
 2B ヒトに対する発癌性が疑われる
 3 ヒトに対する発癌性が分類できない

確認される一方で吸入等による毒性が明らかになっています。毒性には二種類あり、非発がん毒性の場合、毒性を発現する生物体への最小作用量があり、その量を超えて暴露するといろいろな障害が現れてきます。

一方、発がんに関しては非発がん毒性のような最小作用量は存在せず、どのような微量であっても一定の発がんのリスクが存在すると考えられています。表に示した元素は多くが発がん性を有することが明らかとなっています。これらの元素に一生涯暴露した場合でも発がんするリスクが10万人に一人以下になるようにとの観点で、大気中濃度の目標値（指針値）が決められています。

無機元素の摂取量と健康影響の概念について、ごく単純化すると下の図1のようになります。

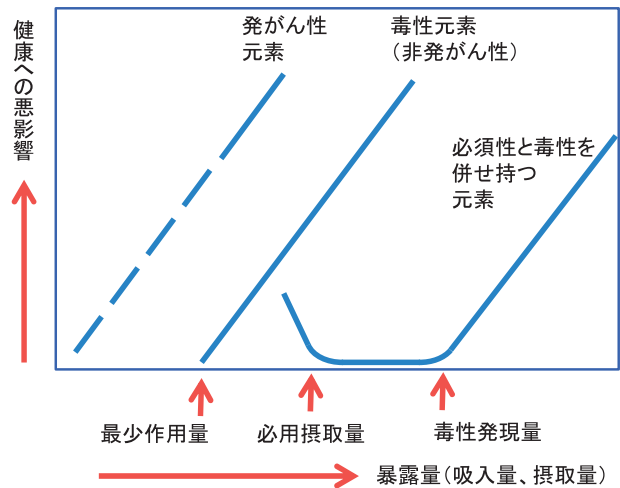
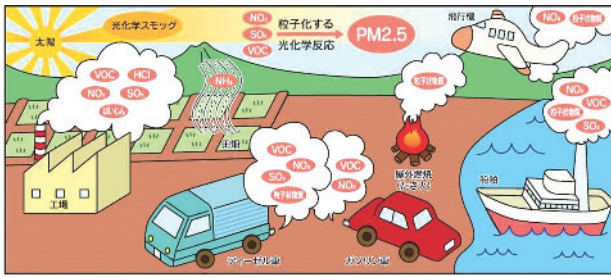


図1 無機元素の摂取量と健康影響の概念図

必須性と毒性を併せ持つ元素は、足りなくても多く摂取しすぎても健康に影響があり、毒性元素（非発がん性）はある一定の量を摂取すると健康影響を生じ始めます。一方、発がん性元素はごく微量であっても暴露量に応じ一定の健康影響リスクを持っていると考えられています。

■大気中微小粒子状物質 (PM_{2.5}) の有害性■

PM_{2.5}について、北海道においても2014年3月およ



PM_{2.5}の発生 神奈川県ホームページより
<http://www.pref.kanagawa.jp/cnt/f470290/p656379.html>

び7月に注意喚起が発令されるなど、高濃度になる事象がたびたび起きています。皆さんも「PM_{2.5}って、体に悪そうだな」と思われているかもしれません。PM_{2.5}とは、直径が2.5マイクロメートル（百万分の一メートル）より小さい、大気中を浮遊している粒子のことです。PM_{2.5}などの大気中粒子状物質は、水溶性イオン成分（硫酸アンモニウム、硝酸アンモニウム等）、炭素成分（有機炭素、元素炭素等）、その他無機元素成分等から構成されています。

PM_{2.5}くらいの小さな粒子になると、呼吸の際に咳や痰など気管の異物除去作用によっても取り除かれず、肺まで粒子が到達してしまいます。このため、循環器系や呼吸器系疾患等に係る健康への影響が大きいと考えられています。このPM_{2.5}には様々な由来の粒子が含まれており、ディーゼル車などから排出される粒子（DEP）や、工場の排煙や家庭暖房などから粒子として排出される一次粒子が第一に考えられます。それに加えて、排出されたときは硫黄酸化物、窒素酸化物やVOC等のガス状だった物質が大気中で反応して粒子になったものもあります。これらは、前述の一次粒子に対し、二次粒子と呼ばれています。このように様々な要素から構成されるPM_{2.5}ですが、この中のどの成分が健康に悪影響を及ぼすのかという点では、決定的な結論は出ていません。ただし、PM_{2.5}のさまざまな構成成分の中でも、一定割合を占めるDEPに関しては、発がん性が認められています。また、このDEPは、日本における環境汚染の中でも高リスクとされている¹⁾など健康影響が比較的大きいと思われます。DEPを排出するディーゼル車については、首都圏に施行されている走行規制により、地域によってはDEP排出量の多い古い車両が走れないようになり、大気中の濃度減少が顕著となっています。しかしながら北海道では走行規制がかけられておらず、いまだに黒煙を吐いている古い車を時折見かけます。このDEPには、色々な有害物質や亜鉛などの無機元素が含まれます。また、PM_{2.5}構成成分のうち、硫酸イオン、鉄、ニッケル及び亜鉛の、死亡率との強い相関が報告²⁾されてい

ます。さらに、前述の発がん性を持つ無機元素であるヒ素などを含んでおり、PM_{2.5}全体による健康影響に加えて、構成成分による健康影響もあることがわかります。しかも発がん性物質による健康リスクはこの濃度以下なら安全、という最小作用量のような閾値がなく、微量でも一定のリスクがあると考えられており、更なるリスク削減対策を模索していく必要があります。

■発生源寄与率推定への応用■

さて、PM_{2.5}の濃度を下げることができれば、PM_{2.5}に起因する健康影響を減らすことができます。PM_{2.5}には、自動車などの人為発生源と火山や海などの自然発生源が存在し、地域内の影響のほか、国境を越えた長距離輸送による影響もあります。環境中のPM_{2.5}濃度を減らす対策を考えるには、どのような発生源からどのくらい影響を受けているかの推定、すなわち、発生源寄与率の推定がとても大切になります。

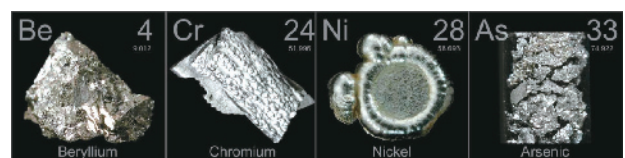
PM_{2.5}などの大気中粒子状物質に含まれる無機元素成分にはアルミニウム、ナトリウム、カリウム、亜鉛、バナジウム、マンガン等があります。このうち、アルミニウムは土壌粒子、ナトリウムは海塩粒子、マンガンは鉄鋼、カリウムは廃棄物焼却及び植物燃焼、バナジウムは石油燃焼の指標元素として知られています。また、亜鉛は自動車などの潤滑油やタイヤゴム及びその他多くの日用品中に含まれており、札幌市内では比較的高濃度で観測されます。無機元素は、発生源から排出された後の、反応による濃度変化がありません。このため、上記のように発生源に特有の指標となる元素が存在することもあり、発生源寄与率の推定によく用いられます。

以上の様に、健康影響のみならず、大気中粒子状物質の発生源寄与解明に重要なヒントを与えてくれるという意味で、大気環境に関して無機元素が重要です。

（環境保全部 大塚 英幸）

文献

- 1) Ranking the risks of twelve major environmental pollutants that occur in Japan, M. Gamo et al., *Chemosphere*, 53, pp. 277-284 (2003).
- 2) Association between particulate- and gas-phase components of urban air pollution and daily mortality in eight Canadian cities, Burnett R. T., *Inhal. Toxicol.*, 12, pp. 15-39 (2000).



元素の結晶写真(<http://www.periodictable.com/Elements>)

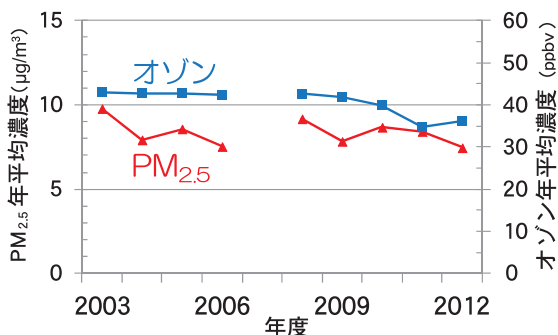
■大気環境モニタリングーPM_{2.5}とオゾン■

呼吸系や循環器系に影響を与えるおそれのあるPM_{2.5}が、2014年3月及び7月に北海道内で高濃度となり、注意喚起が行われ、関心を集めました。

一方、オゾンは一定濃度を超えると、目や咽喉などの粘膜や気道が刺激され、植物の葉の変色や成長阻害があるといわれています。2014年6月、注意報の目安となる120ppbv(体積十億分率)を超える濃度が、道内(利尻)で初めて観測されました。

PM_{2.5}とオゾンは、局地的な汚染の影響を受け、また、オゾンは成層圏からの降下の影響も受けますが、前述のPM_{2.5}及びオゾンの高濃度事例では、加えて長距離輸送の影響を大きく受けていたと考えられます。

北海道における長距離輸送による影響は、長期的にはどう変化しているのでしょうか。アジア大陸からの長距離輸送の影響に注目して、周囲に局地的な発生源が少ない利尻(国設利尻酸性雨測定局)でのPM_{2.5}とオゾンのモニタリング結果をみると、どちらの年平均濃度にもここ10年、上昇傾向はみられません。



ただし、PM_{2.5}やオゾンの原因物質である窒素酸化物や揮発性有機化合物の濃度は、アジア域では上昇していると推計されており、利尻でPM_{2.5}やオゾンの年平均濃度が上昇していないのは、意外にも思われます。引き続き、長距離輸送による影響について、注意して推移をみる必要があります。

一方、局地的な汚染によるPM_{2.5}やオゾン濃度への影響についても、道内各地の状況をモニタリングにより把握し、詳しく調べています。また、高濃度事例については、一時間値等の詳細なデータを原因の解明に活用しています。今後も、環境汚染対策を進めるうえで基礎となるモニタリングを継続していきます。

(環境保全部 鈴木 啓明)

■2014サイエンスパーク■

2014年8月6日(水)に『2014サイエンスパーク』が、ケーズデンキ月寒ドームで開催されました。このイベントは、未来を担う子供たちが科学技術を身近に体験し学ぶ機会を提供することにより科学技術に対する理解を深めてもらうことを目的に北海道と地方独立行政法人北海道立総合研究機構が共催して毎年開催しているものです。

環境科学研究センターは、環境問題やエネルギー問題について考えるきっかけづくりとして「この夏は電気をつくろう!」に出展しました。自転車をこいで発電機を回し、その電力で家電製品を動かす体験イベントで、今回は、白熱球とLED電球の違いや扇風機など動かす実験を行いました。

149人の子どもたちがこの体力発電に参加し、エネルギーの大切さと地球温暖化防止についての理解を深めてもらうことができました。



一生懸命に自転車をこぐ小学生

☆☆ホームページも御覧ください!!☆☆

<http://www.ies.hro.or.jp>

お問い合わせは

〒060-0819 札幌市北区北19条西12丁目
地方独立行政法人北海道立総合研究機構
環境・地質研究本部 企画調整部企画課
TEL 011-747-3521 FAX 011-747-3254
e-mail ies@hro.or.jp

平成26年10月
センターニュース編集委員会