



NIES RESEARCH BOOKLET

# 環境儀

NO. 56 MARCH 2015

国立環境研究所の研究情報誌

## 大気環境中の 化学物質の 健康リスク評価

実験研究を環境行政につなげる

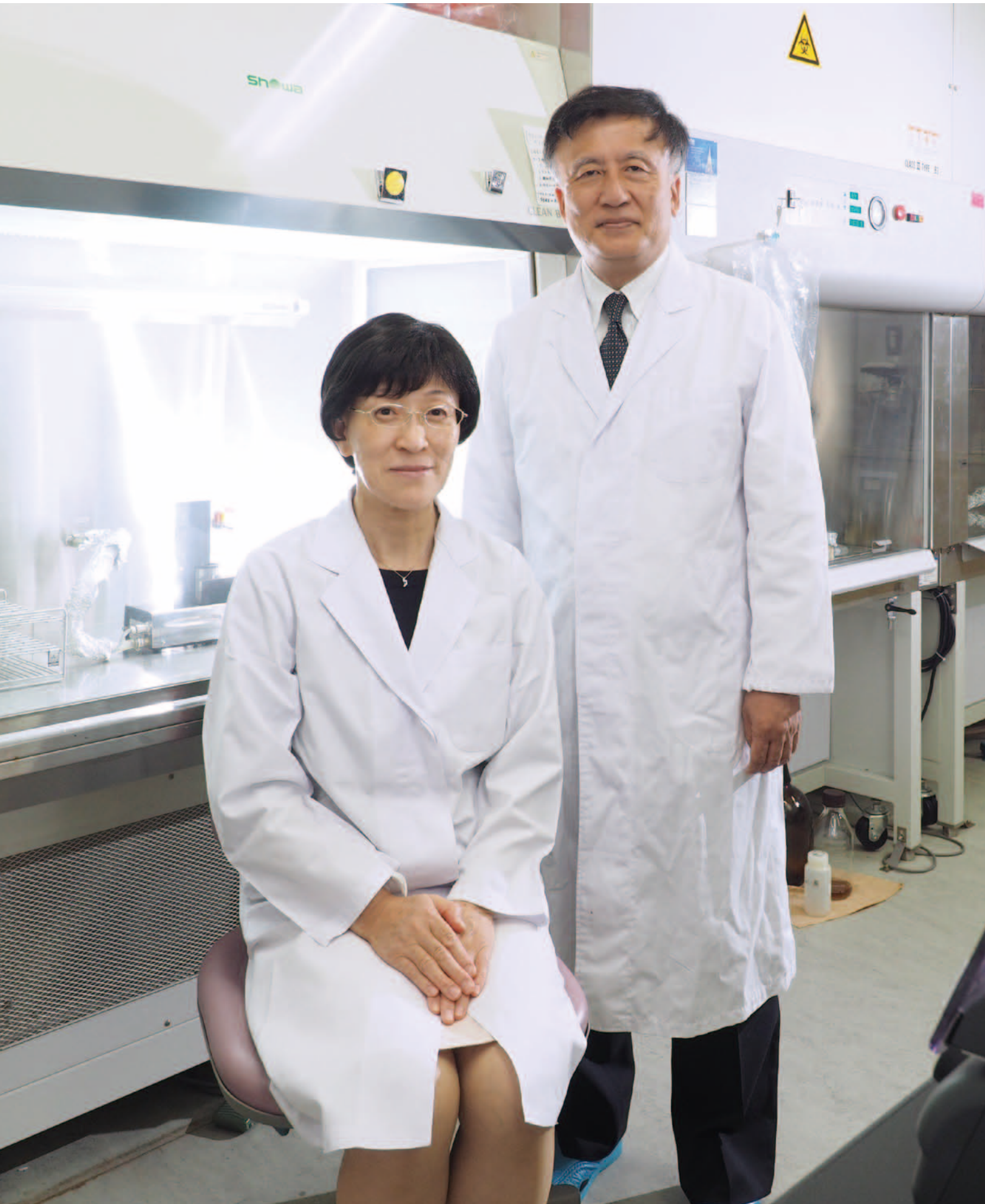


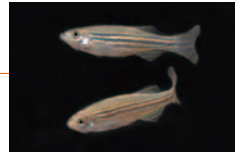
独立行政法人

国立環境研究所

<http://www.nies.go.jp/>







私たちは、空気の存在をほとんど意識せずに生活しています。しかし、新生児から高齢者まで分け隔てなく、みな同じ空気を吸って生きているのです。「誰もが健康に生活できるように」それを願って大気中の化学物質の健康リスク研究を進めています。

国立環境研究所では、環境中に存在する化学物質の有害性とそのリスク評価に関する研究に取り組んでいます。

人間の生産活動により多種多様な化学物質が生成され、使用されています。その一部は大気や土壌、水などの環境中に排出されますが、80%以上は大気中に放出されると見積もられています。さらに、大気中には石油や石炭などの化石燃料の燃焼により生成された化学物質も排出されています。これらの化学物質の一部は発がん性などの有害性を持つため、被る影響についてその重大さと発生する頻度の両方を推定すること、つまり健康リスクを評価することが、人々の健康を守る上で必要です。

本号では、大気環境中に存在する化学物質の有害性、特にかんの原因となる突然変異の体内での発生を定量的に評価する基礎的な研究と、さらに、国内外の知見を総合的に検討して大気中の化学物質のリスクを評価し、指針値設定などの環境施策につなげる研究を紹介いたします。

## C O N T E N T S



### 大気環境中の化学物質の 健康リスク評価

実験研究を環境行政につなげる

- Interview 研究者に聞く  
大気中の有害化学物質の  
リスクを評価するために …… p4～9
- Summary  
みんなが曝露されている？  
——リスク評価の重要性 …… p10～11
- 研究をめぐって  
化学物質：  
リスク評価からリスク管理へ …… p12～13
- 国立環境研究所における  
「有害大気汚染物質のリスク評価手法に  
関する研究」のあゆみ …… p14



# Interview 研究者に聞く

環境リスク研究センター・センター長の青木康展さんと主任研究員の松本理さんは、大気中に存在する有害化学物質のリスク評価に関する研究を行っています。青木さんと松本さんに研究の経緯や成果についてうかがいました。



青木康展／環境リスク研究センター センター長

## 大気中の有害化学物質の リスクを評価するために

### 大気汚染物質の突然変異の影響を検出

**Q：**環境の研究を始めたきっかけは何ですか。

**青木：**私は、生化学や分子生物学が専門で、大学院時代には昆虫の変態を研究していました。国立公害研究所(現・国立環境研究所)に入所したころ、水銀やカドミウムなどの重金属の汚染による問題の解決が環境行政や環境研究の大きな課題でした。そこで、重金属の毒性発現機構を明らかにする必要性を感じて研究を始めました。

**松本：**私は大学では薬学の衛生化学を専攻しました。研究の仕事をしようと卒業後国立公害研究所に入所し、環境中の有害物質の研究を始めました。

**Q：**これまでどんな研究をしてきましたか。

**青木：**海外長期出張から戻ったのちは、ダイオキシン類が遺伝子発現に及ぼす影響を研究するようになりました。それまでは、試験管内で細胞やタンパク質のレベルで化学物質の影響を調べていたのですが、研究を続けているうちに、生物が環境中の汚染物質に曝露されたとき、生体内でどのような反応が起きているの

### コラム① 突然変異と発がん

先祖から伝えられる生物の色や形などの性質(形質；先天的に子の形質が親の形質に似ることを遺伝という)が、子の代に受け継がれる際に遺伝子の変化によって変わることが突然変異といえます。例えば、フナの体色は黒ですが、黒い体色を決定する遺伝子が増えた結果、体色が赤に変わったものがヒブナです。現在は、この遺伝子の変化とは細胞の中にあるDNAの配列の変化であることが分かっています。DNAは細長い分子で、アデニン(A)、チミン(T)、グアニン(G)、シトシン(C)という4種類の塩基が並んでいます。この塩基の順番(配列)をコードといい、これが遺伝情報を担っています。コードに従って、様々な種類のタンパク質が合成され、そのタンパク質の働き方により生物の形質が決まります。子が親に似るのは、コードが親から子へ正しく伝えられるからです。しかし、精子や卵子のDNAにおいて、遺伝情報のコードつまり塩基の配列が正しく伝わらないと、親とは異なるタンパク質が合成され

たり、あるいは必要なタンパク質が合成されなかったりした結果、子の形質が変わることがあります。現在では、DNA上の塩基配列の変化そのものも突然変異と呼んでいます。化学物質のDNAへの結合は突然変異の原因の一つです。結合する化学物質の性質により、引き起こされる塩基配列の変化も異なります(図1)。

突然変異は、精子や卵子以外の体細胞にも起こります。もし、突然変異が正常な細胞の増殖を調節する遺伝子に発生すると、細胞が無秩序に増殖するようになる場合があります。この無秩序な細胞の増殖こそが「がん細胞」の大きな特徴で、DNAの突然変異は、正常な細胞ががん細胞に変化する主な原因の一つです(図2)。



松本理／環境リスク研究センター 環境リスク研究推進室 主任  
研究員

かを知りたくなりました。個体レベルで調べればこの疑問に答えられるに違いないと強く感じたことが、新たな研究を始めたきっかけです。そこで私自身のバックグラウンドを生かし、遺伝子工学の技術を使って、化学物質による遺伝子突然変異を検出できるゼブラフィッシュを開発することにしました。突然変異とは遺伝子のDNAの配列が変化することで、化学物質による発がんの原因にもなる重大な生体影響の一つです(コラム①)。

Q：なぜ魚を使ったのですか。

青木：魚を使えば、水中の化学物質が生体に及ぼす影響を直接観察することができると考えたからです。化学物質による突然変異の検出には、米国で開発されたエームス法という細菌を使った方法がよく使われています。すでに開発が始められていたマウスやラットによる方法を参考にして研究を進め、多くの困難を乗り越え、約5年間をかけてゼブラフィッシュの開発に成



功しました(コラム②)。研究を進めることができたのは、所内に天沼喜美子さん(現：国立医薬品食品衛生研究所)という共同研究者がいたおかげです。天沼さんはゼブラフィッシュの分子生物学に詳しく、この魚を使って研究を成し遂げる強い意志を持っていました。初めて動物の体内で突然変異が起こることを確認したときやその成果を論文として発表したときは感激しました。そして、この経験から、生物を使った環境モニタリングの可能性を真剣に考えるようになりました。

松本：同じ頃(1990年頃)、私は青木さんとは別に、エームス法で都市の大気中の粒子の変異原性(突然変異を起こす性質)を分析していました。

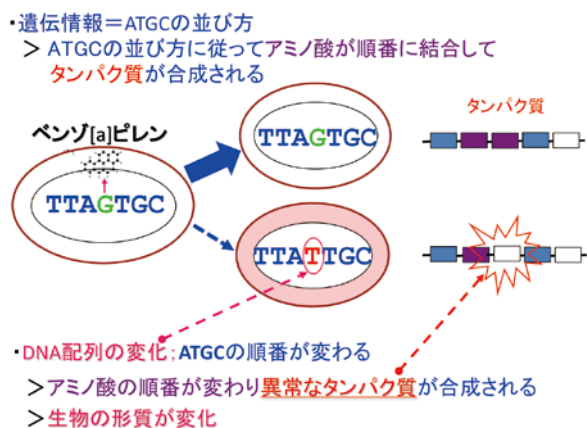
Q：一緒に研究するようになったのはいつからですか？

松本：少したって、ダイオキシン類の遺伝子の発現や転写調節に対する影響の研究に携わるようになってからです。2001年からは、リスク評価の共同研究を始めました。お互いの研究に共通点があったので、研究をうまく進めることができました。

## 大気中に放出される化学物質

Q：なぜ大気中の有害物質に興味をもったのですか。

松本：私が入所したのは、都市の大気汚染が社会問題になっていた頃で、所内でも大気汚染の研究が熱心に行われていました。私もその研究に関わり、都市大気中の粒子の変異原性を調べたところ、粒子の粒径の小さいものほど変異原性が高いことがわかり、危機感を



■ 図1 化学物質の作用による突然変異の発生

化学物質(この図ではベンゾ[a]ピレン)が結合しDNA付加体が生成すると、しばしば突然変異(図ではGからTに変わる)が発生し、遺伝情報が誤って次世代(親から子)に伝わります。このような塩基配列の変化が突然変異です。



■ 図2 突然変異とがん細胞の発生の関係

正常な細胞の増殖を調節する遺伝子に突然変異(図ではGからTに変わる)が発生すると、正常な細胞ががん細胞に変化することがあります。

感じました。私自身も、たばこの煙やディーゼル排ガスが苦手ですし、これらの発がん性を知っていたので、大気中の有害化学物質に興味をもつようになりました。

**青木**：折よく、都市大気の下で飼育したラットの肺を分析する機会があり、肺の中にDNA付加体(大気汚染物質がDNAに結合したもの(右に示した図)が生成していることがわかりました。このことは、大気汚染物質が突然変異を誘発する可能性を示します。そこで、大気中の有害化学物質が体内でどの程度の強さの変異原性を示し、発がんにつながる可能性があるのかを明らかにする必要を感じ、新たな研究に取り組むことにしました。

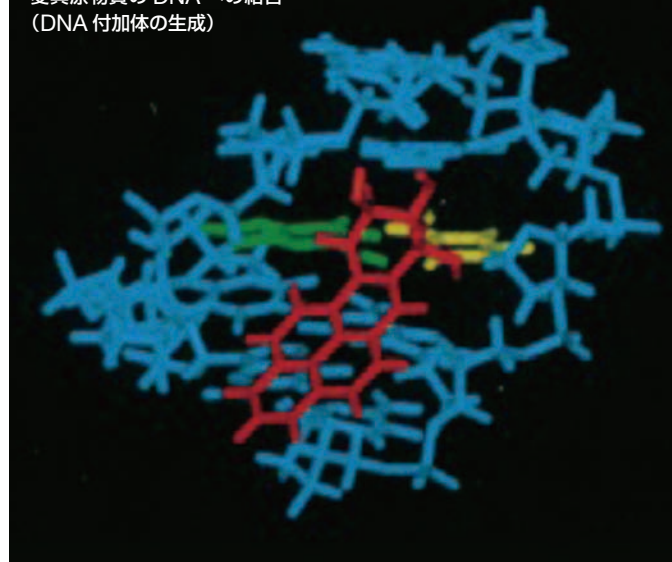
**Q**：大気中の有害化学物質とはどんなものですか。

**松本**：大気中には、トルエンやベンゼンなど製品材料として使用される化学物質や、化石燃料を燃やした時にできる燃焼生成物が放出されています。工場で製造される化学物質の一部は、製造や使用の過程で環境中に排出されます。その排出量はPRTR制度により把握されています(コラム⑨)。集計データによれば、日本では環境中に排出される化学物質の80%以上が大気中に放出されていると考えられます。

**青木**：燃焼生成物には、発がん性が知られるベンゾ[a]ピレンなどの多環芳香族化合物が含まれ、大気や食物から人が摂取していることが知られていますが、これらの物質の排出の総量はPRTR制度では把握されていません。

**Q**：大気中の有害化学物質は人体にどのような悪影響を及ぼすことが知られていますか。

変異原物質のDNAへの結合  
(DNA付加体の生成)



**青木**：発がん性や神経への影響が知られています。2013年、WHOのIARC(国際がん研究機関)が「屋外大気汚染」を「人に対する発がん性がある(グループ1)」に分類すると発表しました。人は様々な経路により環境から化学物質を摂取しています。水や食べ物に含まれる化学物質なら摂取を抑えるための対策を立てることができますが、いったん大気中に排出された化学物質は、子どもから大人まで誰もが同じように呼吸で体内に取り込むため、皆にあまねく影響が及ぶ可能性があります。大気汚染物質の研究の重要な意義がここにあります。

**Q**：大気汚染物質のどんな研究をしていますか。

**青木**：大きく分けて二つの研究をしています。ひとつは、動物実験によってディーゼル排気などの有害化学物質の生体への影響を調べることで、もうひとつは大気中の有害化学物質のリスク評価をすることです。

## コラム⑨ 細菌を用いた突然変異検出法と 遺伝子導入動物を用いた突然変異検出法

化学物質の変異原性は、生物の性質の変化を利用して検出します。初めて広く利用された方法が細菌(サルモネラ菌)を用いた方法で、開発者Ames博士の名前を取ってエームス法(Ames test)と呼ばれています。この方法では、ヒスチジン(細菌の生存に必要なアミノ酸の一種)の生合成(体内の化学変化によって物質を作り出すこと)に欠かせない酵素のDNAに突然変異が起こると、ヒスチジンを遺伝的に生合成できない細菌がヒスチジンを生合成できるようになる性質を利用して突然変異を検出します。実際の試験では、化学物質を細菌に処理した後、ヒスチジンを含まない培地でも増殖できるようになった細菌を数えることで、化学物質の変異原性を調べます。変異原性を示す化学物質を変異原物質と呼びます。

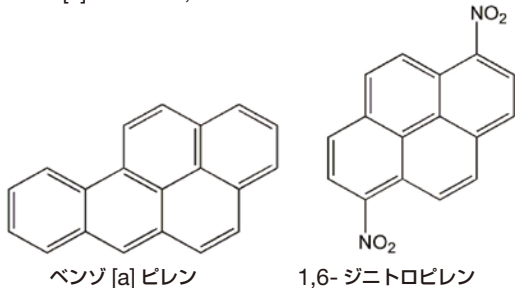
変異原物質を研究する一つの目的は、実際の動物の体内

でどのような突然変異を引き起こすかを明らかにすることです。そこで、体内で発生した突然変異を検出できるよう、突然変異検出用の標的遺伝子のDNAを全身の細胞のDNA上に挿入した遺伝子導入マウスやラットが開発されました。標的遺伝子としては、大腸菌の抗生物質への感受性を決定する遺伝子や乳糖代謝に関与する遺伝子が用いられています。この遺伝子導入動物に投与した化学物質がDNAに結合すると、DNAの塩基配列が変化して突然変異が発生します。この突然変異は標的遺伝子上にも発生しますので、標的遺伝子を動物のDNAから切り出して大腸菌に戻すと、動物の体内で発生した突然変異であるにも関わらず、大腸菌の性質に変化が起こります。gpt delta マウスでは、gpt 遺伝子上に突然変異が発生すると大腸菌が6-チオグアニン(6-TG)という薬剤に対して耐性をもつ





ベンゾ [a] ピレンと 1,6- ジニトロピレンの構造



(左図説明)

ベンゾ [a] ピレン (変異原物質) は DNA 上のグアニンに結合することが知られています。(青: DNA、赤: ベンゾ [a] ピレン、緑: グアニン、黄: シトシン)

Fountain MA and Krugh TR (1995) Biochemistry, 14, 3152-3161 より引用

### ディーゼル排気の毒性を明らかにする

**Q:** ディーゼル排気とは、ディーゼルエンジン車がかつて出していた黒い煙のことですね？

**青木:** そうです。ディーゼルエンジンの排気は、大気中に含まれる有害な化学物質の排出源のひとつで、ベンゾ [a] ピレン、1,6-ジニトロピレン (上に示した図) などの有害物質を含む微粒子が排出されています。松任谷由実作詞の「青春のリグレット」に、「バスは煙残り、小さく咳き込んだら」という歌詞があります。この歌が発表された1985年ごろは、今から考えると、まだディーゼル排気の規制が十分ではなかったので、バスのディーゼルエンジンからの排気ガスで咳き込むことはあったでしょう。

**Q:** 今では、このような歌詞は生まれませんか。

**青木:** 1993年頃から自動車排出ガス規制が段階的に

導入され、2001年に成立した自動車NOx・PM法でディーゼルエンジン車の車種規制も盛り込まれました。2009年に施行された新しい排出ガス規制では粒子状物質と窒素酸化物の大幅な削減が義務付けられています。今こんなことがあったら、結構な騒ぎですね。私たちは、実際の大気汚染のモデルとして、突然変異を検出するためのマウスやラットをディーゼル排気に曝露し、突然変異がどのように起こるのかを調べました。その結果、肺だけでなく精巣でも突然変異が起こり、ディーゼル排気の影響は全身に及ぶ可能性があることがわかりました。さらに、遺伝子内の特定の位置に突然変異が起こることが示され、ディーゼル排気の曝露によって突然変異が起こるメカニズムを明らかにする手がかりを得ました。突然変異を検出するための実験動物(マウス、ラットやゼブラフィッシュ)には、突然変異検出用の標的遺伝子が導入されており、そこに発生した突然変異を分子生物学の手法で検出します。従来の微生物や培養細胞を用いる方法に代わり、動物体内で発生した突然変異を調べるのは斬新でした。ゼブラフィッシュを開発した経験があったからこそ、こんな考えに結び付いたのだと思います。

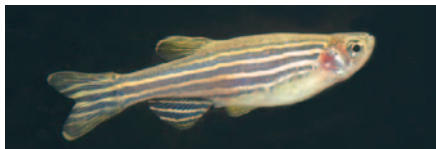
**Q:** 動物実験を行うには、かなり苦労もあったのではないのでしょうか。

**青木:** ええ、当時は遺伝子を導入した実験動物を用いた手法はまだ発展途上で、再現性の高い実験法を確立するまでには苦勞しました。でも、この経験はリスク評価を行う上で役に立っています。現在は、大気中の化学物質による変異原性を定量化しようとチャレンジしています。

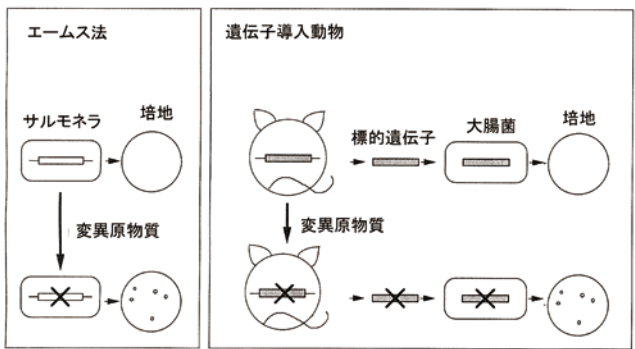
ようになり、6-TGを含む培地上で増殖できるという性質を利用して、動物の体内で発生した突然変異を検出します。

この環境儀では、マウスでの研究を中心に紹介していますが、私たちは水中に存在する変異原物質を検出するための遺伝子導入ゼブラフィッシュ\* (熱帯魚の一種 図3) を世界に先駆けて開発しました。このゼブラフィッシュの開発研究で得た着想が、大気中の有害化学物質曝露による突然変異の研究に大きくつながりました。(図4)

\*同じ時期に米国のWinn博士により遺伝子導入メダカが開発されました。



■ 図3 ゼブラフィッシュ



■ 図4 細菌 vs 遺伝子導入動物

## 動物実験データをもとにしたリスク評価

**Q:** いつからリスク評価の研究を始めましたか。

**松本:** 本格的に研究を始めたのは、2001年に、化学物質のリスク研究を総合的に行う目的で化学物質環境リスク研究センターが新設されてからです。それまでは、大気汚染や水質汚染などのリスクは個別に研究されていました。しばらくして、1,2-ジクロロエタンのリスク評価を環境省から要請されました。化学物質の健康リスク評価とは、化学物質が人や実験動物に及ぼす影響とその量・反応関係を調べ、どのくらいの量まで人が耐容できるのかを判断するものです。日本における大気汚染物質の健康リスク評価は疫学調査の結果に基づいて行われることが多かったのですが、1,2-ジクロロエタンの評価では、人が一生涯曝露された場合の発がんリスクをラットの発がん試験のデータを用いて推定しました。

**Q:** 動物実験のデータはリスク評価に使われていなかったのですか。

**青木:** はい。これまで環境基準や指針値は、人への健康影響を直接評価できるという原則の下に、疫学調査の結果に基づいて行われてきました。一方、多くの化学物質の生体への影響が動物実験で調べられています。私たちがディーゼル排気ガスによる突然変異を動物実験で調べてきたので、動物実験のデータを指針値設定のためのリスク評価に用いる必要性を強く感じていました。そのころ、私は内閣府に2年間の出向になり、科学技術政策の仕事をしていましたが、科学研究と環境政策の関係についてかなり悩みました。実験科



ディーゼル排気曝露装置

学者としての経験を、環境基準や指針値を決めるリスク評価など環境施策につながる研究にどのように生かすべきかを真剣に考えていました。

**Q:** 指針値と環境基準はどう違うのですか。

**青木:** 環境基準は維持されることが望ましい基準で、行政上の政策目標になるため、排出を抑制する方策が立てられます。指針値は事業者や行政が排出抑制に向けて行動するよう促すために設定されます(コラム③)。

**Q:** どのようにリスク評価を行ったのですか。

**松本:** 1,2-ジクロロエタンのリスク評価の要請があったのは、ちょうど青木さんの出向中で、私がほとんど一人で担当しなければなりませんでした。方々の専門家に教えていただきながら、動物実験のデータを検討し、数理モデル解析用のソフトウェアを利用して、発がんリスクを算出しました。

**Q:** リスク評価では何に重点を置いていますか。

**青木:** リスク評価の仕事の一つは、大気汚染物質の影響が現れないと考えられる大気中の濃度を予測することです。つまり、影響を未然に抑えるための方策の実

## コラム③ 大気中の有害化学物質

環境中に放出される化学物質には、製品としての利用のために合成される化学物質と、燃焼や化学製品製造などの副産物として生成される化学物質(非意図的生成物)の2種類があります。化学製品としての生産量が多く、有害性が知られる462種類の化学物質の環境中への排出量は、PRTR(汚染物質排出移動登録)制度により把握されており、その80%以上が大気に排出されています。この制度は、有害性が疑われる化学物質が、どこから、どのくらい、環境(大気・水域・土壌など)中へ排出されているか(排出量)、廃棄物などとして移動しているか(移動量)を把握し、集計・公表する仕組みです。一方、非意図的生成物の環境への排出量の把握は十分ではなく、健康リスク評価の上で大きな課題となっています。

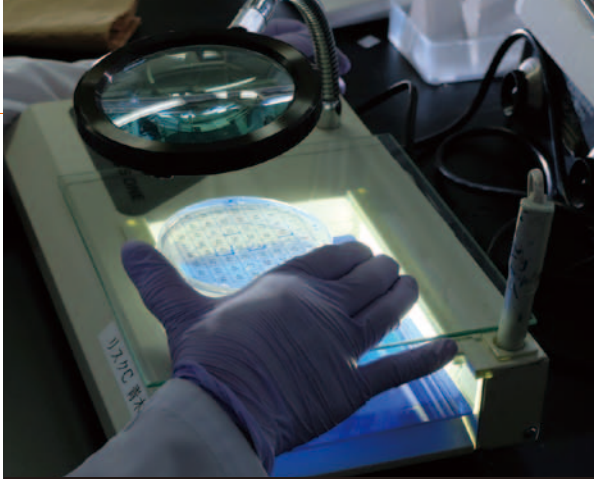
わが国では、大気汚染防止法により、有害大気汚染物質は「継続的に摂取される場合には人の健康を損なうおそれがある(長期毒性を有する)物質で大気中の汚染の原因とな

るもの」と規定されています。1996年に「有害大気汚染物質に該当する可能性がある物質」として234物質、さらにその中から、有害性の程度や大気環境の状況に鑑み健康リスクがある程度高いと考えられる22物質が優先取組物質として選定されました。

これらの物質は、PRTRの制度化を受け、PRTR対象物質との整合性を考慮し、2010年に見直され、「有害大気汚染物質に該当する可能性がある物質」248物質、「優先取組物質」23物質が選定されました。優先取組物質のうち5物質(ダイオキシン類についてはダイオキシン類対策特別措置法に基づき対応)については環境基準が、9物質については指針値が設定されており、様々な排出抑制策がとられています。

「環境基準」とは、環境基本法第16条により「人の健康を保護し、及び生活環境を保全する上で維持されることが望ましい基準」として定められる行政上の政策目標です。





突然変異の検出  
寒天培地上での大腸菌の増殖を確認する

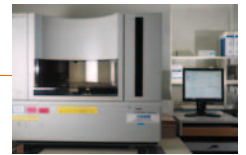
現に向けて研究することが私たちの使命です。いま、何も影響が見えなくても、それは本当に影響がないのかどうかはわかりません。そこで、影響が顕在化する可能性を示すことも必要と考えています。健康影響の予測に動物実験のデータを活用しようとしても、客観性や再現性が確実なデータしかリスク評価に用いることはできません。また、統計的な取り扱いが可能なデータであることも必要です。よりよいリスク評価を行うためには、これまで実験をやってきた経験がとても大切だと感じています。

## 指針値設定のガイドライン

**Q:** その後、ガイドラインの策定にも関わることになったのですか。

**松本:** はい。センターが中心となって、環境省からの要請により、指針値設定のためのガイドラインの改定を検討することになりました。以前は、職業曝露の疫学研究で得られたデータを優先して評価を行うことが多かったのですが、それには限界があり、最近では動

大気汚染に係る環境基準として、SO<sub>2</sub>、PM2.5等のガス及び粒子状物質6物質、ベンゼン等の有害大気汚染物質5物質について基準が設定されています。一方、大気環境指針値は、環境基準とは性格や位置付けが異なりますが、中央環境審議会から環境省に提出された二度の答申に基づいて、人の健康に係る被害を未然に防止する観点から科学的知見を集積し評価することによって設定されることになりました。審議会の答申は、「環境基準が設定されていない優先取組物質についても定量的な評価結果に基づいて環境目標値を定めることが適当である」(2000年)、さらに、「環境目標値の一つとして環境中の有害大気汚染物質による健康リスクの低減を図るための指針となる数値(指針値)を設定する」(2003年)としています。指針値は環境基本法に基づく目標値ではありませんが、健康リスク低減の観点からこのレベルが達成できるように排出抑制に努めるべきものと理解することが妥当とされています。



物実験のデータを使うことが必要な状況です。改定されたガイドラインに従えば、どの分野の専門家でも基本的な部分では同じような手順で有害大気汚染物質のリスク評価ができるように内容を検討しました(研究をめぐって「日本では」(12ページ)を参照)。

**青木:** ガイドラインは、人が大気中のある化学物質を一生吸い続けても影響が認められないと推定される濃度を算出するプロセスを示したものです。このガイドラインでは、動物実験のデータから人への影響をどのように考えていくかを皆が納得する形でまとめることが難しい点でした。

**松本:** 基本的には以前のガイドラインを下敷きにしていますが、動物実験の結果から人への影響を評価する方法についてはずいぶん考えました。多くの専門家の検討を経て、2014年4月に、改定ガイドライン「今後の有害大気汚染物質の健康リスク評価のあり方について」が完成しました。

**Q:** 今後の研究の展望や抱負を聞かせてください。

**青木:** 人の生産活動ばかりでなく、自然現象によっても環境中に様々な化学物質が放出されています。私たちは同時に多くの化学物質に曝露されているので、個別の物質のリスク評価も必要ですが、環境から被るリスクの全体を評価できるようにしたいと考えています。そのためにも、動物実験のデータをもっと生かしていきたいですね。

**松本:** 実験科学の基本はデータの実証性と考えています。リスク評価をより実証性の高いものにして、人々が健康に生活できる社会づくりに貢献したいと思えます。

■表1 有害大気汚染物質に係る優先取組物質と大気環境基準・指針値

物質名	環境基準または指針値	設定年
ベンゼン	3 µg/m <sup>3</sup> 以下	1996
トリクロロエチレン	0.2 mg/m <sup>3</sup> 以下	1996
テトラクロロエチレン	0.2 mg/m <sup>3</sup> 以下	1996
ダイオキシン類	0.6 pg-TEQ/m <sup>3</sup> 以下	1999
ジクロロメタン	0.15 mg/m <sup>3</sup> 以下	2000
アクリロニトリル	2 µg/m <sup>3</sup> 以下	2003
塩化ビニルモノマー	10 µg/m <sup>3</sup> 以下	2003
水銀及びその化合物	0.04 µg/m <sup>3</sup> 以下 (水銀(蒸気))	2003
ニッケル化合物	0.025 µg Ni/m <sup>3</sup> 以下	2003
クロロホルム	18 µg/m <sup>3</sup> 以下	2006
1,2-ジクロロエタン	1.6 µg/m <sup>3</sup> 以下	2006
1,3-ブタジエン	2.5 µg/m <sup>3</sup> 以下	2006
ヒ素及びその化合物	6 ng As/m <sup>3</sup> 以下 (ヒ素及び無機ヒ素化合物)	2010
マンガン及びその化合物	0.14 µg Mn/m <sup>3</sup> 以下 (マンガン及び無機マンガン化合物)	2014

### 未設定物質

アセトアルデヒド、ベンゾ[a]ピレン、酸化エチレン、ベリリウム及びその化合物、ホルムアルデヒド、六価クロム化合物、塩化メチル、クロム及び三価クロム化合物、トルエン

## みんなが曝露されている？ ——リスク評価の重要性

食事や生活習慣や職業的な化学物質の曝露などは、がんの原因としてしばしば大きく取り上げられます。しかし、喫煙や飲酒などの生活習慣と異なり、常に呼吸する空気の状態を誰も選択することはできません。誰もが生きるために必要な大気、そこに含まれる有害物質のリスクを把握、評価して、それをできるだけ減らしていくことが重要です。

### 大気中に存在する化学物質とDNA

大気や河川など環境中には多種多様な化学物質が排出されています。化学物質の一部は、変異原性をもっています。変異原物質(コラム②)の多くは、動物への投与実験あるいは人を対象にした疫学研究により発がん性を示すことが知られています。コラム①にあるように、環境中の化学物質が変異原性や発がん性を示す可能性を知るうえで、DNAに結合する性質があるかどうかを調べることが第一歩となります。

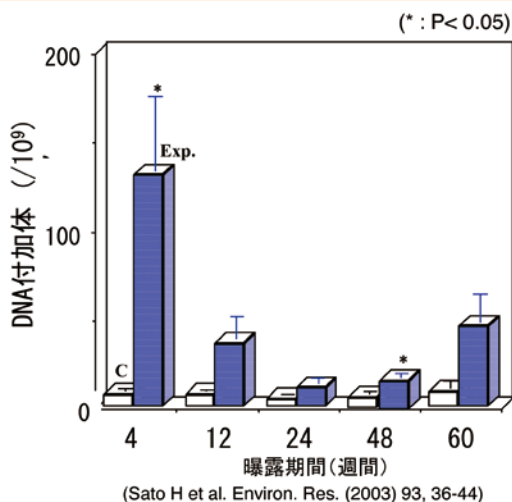
DNAに結合する化学物質の典型が、ベンゾ[a]ピレンや1,6-ジニトロピレンなど大気浮遊粒子に含まれる多環芳香族炭化水素です(P.7上段図)。環境省は、大都市の交差点付近でラットを飼育して都市大気への影響を調べるプロジェクトを実施しました。ラットの肺で起こる変化を調べたところ、飼育開始4週

間後には、化学物質が結合したDNA(DNA付加体)の量が大きく増加することが明らかになりました(図5)。

### 環境中の化学物質が引き起こす突然変異

ラットの肺の中で、大気中の化学物質がDNAに結合すれば、実際に変異原性を示すのでしょうか？ 当時すでに、細菌(サルモネラ菌)を用いて化学物質の変異原性を検出する、エームス法と呼ばれる方法が開発されていました(コラム②)。国立環境研究所でも、東京都内の交差点から採取した浮遊粒子状物質の抽出物の変異原性をエームス法で検出することができました。

浮遊粒子状物質抽出物が細菌で突然変異を発現したとしても、動物の肺の中でも大気中の化学物質は本

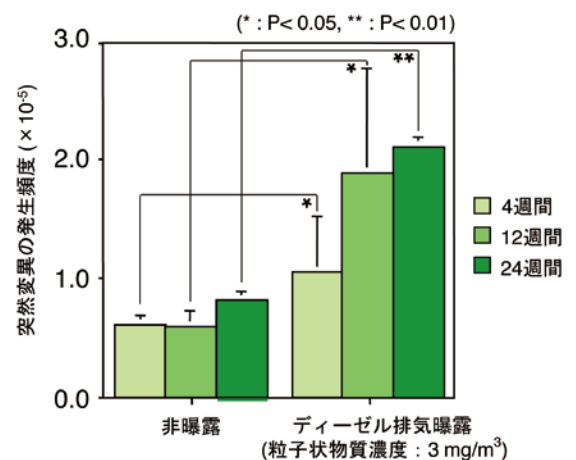


■ 図5 都市大気の下で飼育したラット肺中での化学物質が結合したDNA量(DNA付加体量)の変化

紫色のカラム: 都市大気の下で飼育したラット肺中での化学物質が結合したDNAの量

白色のカラム: 清浄な空気中で飼育したラット肺中での化学物質が結合したDNAの量

飼育開始4週間後には、化学物質が結合したDNAの量が大きく増加した。



■ 図6 ディーゼル排気曝露による肺中での突然変異発生頻度の変化

ディーゼル排気を1ヵ月間以上曝露すると、肺中の突然変異頻度が有意に増加した。(Hashimoto AH et al. Environ. Mol. Mutagenesis (2007) 48, 682-693) のデータより作図)





に突然変異を発生させるでしょうか？ また、その頻度はどれぐらいでしょうか？ その頃、動物体内で生じる突然変異を検出できる標的遺伝子を導入したマウスやラットが開発されました(コラム②)。そのような実験動物の一つが、国立医薬品食品衛生研究所の能美健彦博士により開発された *gpt delta* マウスです。このマウスには大腸菌の遺伝子 *gpt* が標的遺伝子として導入されています。まず、*gpt delta* マウスの肺の中にベンゾ[a]ピレンや1,6-ジニトロピレンを直接投与して、肺の中でどのような突然変異が発生するか調べました。ベンゾ[a]ピレンでは、予想した通りグアニン(G)がチミン(T)に変わりましたが、1,6-ジニトロピレンではGがアデニン(A)に変わるなど、2つの化学物質が引き起こす突然変異の性質には大きな違いがありました。さらに、変異原物質の排出源であるディーゼル排気をこのマウスに曝露し、体内で突然変異が検出されるかどうかを調べました。曝露には、国立環境研究所に設置されていた装置を用いました(P.8上段写真)。その結果、曝露時間が長くなるほど、突然変異の発生が増えることが明らかになりました(図6)。また、ディーゼル排気による突然変異の発現は、ラットでも確認されました。突然変異は精巢にも発現し、ディーゼル排気が全身にも影響を及ぼす可能性が示唆されました。

今後の課題は、このような突然変異発生と、肺での「がん」発症の関係を定量的に明らかにすることです。また、実際の大气に存在する浮遊粒子状物質が、肺の

中でどの程度突然変異を誘導するかを知る必要もあります。

## 1,2-ジクロロエタンの 大気環境指針値設定

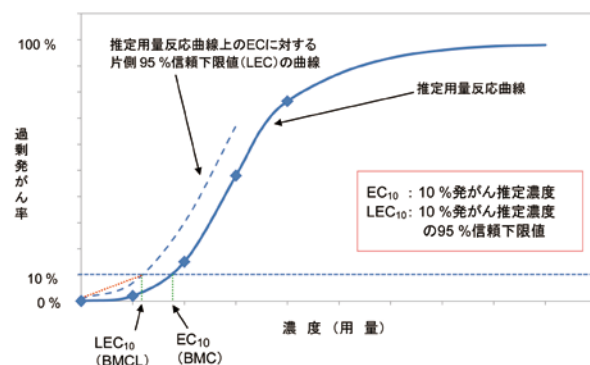
2001年に化学物質環境リスク研究センター(現・環境リスク研究センター)が発足し、実験動物や培養細胞を用いる毒性研究と並行してリスク評価の研究が始まりました。大気中の化学物質のがんリスク評価等の研究を進めていたとき、環境省から、優先取組物質の一つで発がん性を有する可能性のある1,2-ジクロロエタンの指針値の設定における協力の要請がありました。用量反応評価が可能となる吸入の疫学知見がない物質でしたが、日本で実施されたラットの吸入曝露試験の報告があり、この知見のデータを用いて発がんリスクを定量的に評価することにしました。評価作業では、ラットの乳腺腫瘍のデータに数学モデルを当てはめて毒性の基準濃度(ベンチマーク濃度)を求め、これによりユニットリスク(単位濃度当たりのリスク増加分を示す値)を算出するまでの過程を私たちが担当しました(コラム④)。

2006年に私たちの評価をもとに、1,2-ジクロロエタンの指針値は  $1.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  以下と設定されました。国際機関や諸外国に追随するのではなく、世界に先駆けて日本独自の評価により目標値を設定したことは画期的でした。

## コラム④ 動物実験データに基づく発がんリスク評価

健康リスク評価では、疫学研究の知見に基づくリスク評価が望ましいことはいまでもありません。しかし、有害大気汚染物質の健康リスク評価は吸入曝露の知見に基づく評価が原則で、利用可能な疫学知見の多くは、労働衛生・産業疫学領域から得られたものでした。今後、指針値の設定に向けて健康リスク評価値を算出するためには、疫学知見がない、あるいは定量評価の可能な人のデータが得られないことが予想されます。そのため、動物実験の知見を用いてリスクを評価し、人へ外挿して評価値を算出することが必要です。

用量反応関係の明確な発がん実験などのデータがあれば、数学モデルをデータに当てはめて低濃度における反応率(発がん率)を推定できます。また一定の反応率を引き起こす濃度をベンチマーク濃度として算出し、この濃度の信頼下限値を出発点として単位濃度当たりのリスクを求めれば、目的のリスクレベルに相当する濃度を算出できます(ベンチマークドーズ法(図7))。1,2-ジクロロエタンの指針値設定では、この方法で動物の発がん試験データを用いて評価値を算出しました。



■ 図7 発がんデータにおける観察データの用量反応関係とベンチマーク濃度の模式図

10%発がん推定濃度の ( $EC_{10}$ ) をベンチマーク濃度とし、その95%信頼下限値 ( $LEC_{10}$ ) を出発点とした場合を示す。

# 化学物質： リスク評価からリスク管理へ



現実にかかる可能性のある好ましくないことの程度を知るのがリスク評価です。環境中に存在する化学物質の健康へのリスクを評価する際には、化学物質の有害性の程度から耐容できると推定される環境中の濃度を指標として設定します。この指標の濃度より低い値を維持することを目指して、様々なリスク管理の方策が立案されます。

## 世界では

科学技術の発達に伴い、世界中で流通する化学物質の数が増大し、1970年代には人々の間では有害物質の健康影響に対する関心が高まりつつありました。世界保健機関 (WHO) の国際がん研究機関 (IARC) は、1972年より人に対する発がんのリスク評価書「IARCモノグラフ」を108巻発行 (2014年現在) し、化学物質や職業・環境などの要因について、人で発がん性を示すことの確からしさを基準として5段階に分類しています。また、WHOは大気や飲料水に関するガイドラインを公表し、環境汚染の現状と有害物質管理の指針となる値を示しています。

一方、1983年には、米国の国立研究評議会 (National Research Council) が科学と政策の間をつなぐためのリスク評価の手順書を発表し、リスク評価の4つのプロセス—有害性の同定、用量反応評価、曝露評価、リスクの判定—を勧告したことにより、リスク評価の概念が広く知られるところとなりました。その後1986年に、米国環境保護庁 (EPA) は発がん物質のリスク評価のガイドラインを公表し、何回かの改訂を経て2005年に公表された改訂版のガイドラインは、米国だけでなく世界中のリスク評価に関わる人たちの参考書となっています。

現在では、米国だけでなく、欧州連合 (EU)、カナダ、オーストラリアなど先進国をはじめとする多くの国々や機関で、リスク評価書が作成されています。

ところで、リスク評価に必須の化学物質の有害性データは、人を対象とした疫学研究ばかりでなく、動物実験からも得られます。化学物質のリスク評価のために有害性のデータを得るときは、実験の信頼性を確保するために、共通の指針に基づいて実験を行うことが理想です。その中で最も標準となるのが、経済協力開発機構 (OECD) が策定しているテストガイドラインです。このガイドラインには、健康影響を評価するためのマウスやラットを用いた毒性試験法のほか、遺伝子導入動物を用いた変異原性試験法、魚やミジンコを用いた生態毒性試験法なども収載されています。

## 日本では

リスクの初期評価とは、リスク評価を迅速に行い、リスクが比較的高いと考えられる化学物質を選び出すプロセスです。環境省では初期評価として、「化学物質の環境リスク評価」を実施しており、リスク評価を環境施策に役立てようとしています。国立環境研究所の環境リスク研究センターがその事務局を担っています。また、製品評価技術基盤機構が実施した初期評価の結果を「化学物質の初期リスク評価書」として公表しています。

現実の対策に反映することを意図して化学物質の有害性評価を丁寧に行うプロセスは、詳細評価と呼ばれています。大気環境基準、大気環境指針値などの環境目標値の設定の際には、有害性評価に重点を置いた詳細評価が行われます。また、化学物質審査規制法の下でのリスク評価では化学物質の有害性と曝露量が詳細に



リスクとは何でしょうか？ 様々な考え方がありますが、「好ましくないことが起こること、その確率、程度」とするのが一般的でしょう。したがって私たちは、健康リスク評価とは、「化学物質など環境因子の曝露により、人の健康にとって、起こってほしくないこと、好ましくないこと（事象）が起こることとその確率、程度（重大さ）を知ること」であると捉えて研究を進めています。



評価されます。産業技術総合研究所での詳細評価をまとめた「詳細リスク評価書」では、環境中濃度の推定など曝露評価が丁寧に行われています。

有害大気汚染物質の健康リスク評価・指針値設定の基本的な方針は、2003年と2006年に中央環境審議会の答申として、「今後の有害大気汚染物質の健康リスク評価のあり方について」および「指針値算出の具体的手順」に示されました。これが指針値設定のガイドラインとして用いられていましたが、動物から人への外挿や不確実係数の設定などに関する具体的な算出手順は明確に規定されておらず、また今後は疫学知見のない物質を評価する必要も予想されたため、動物実験に基づく評価手法を中心に、より詳細なガイドラインとなるべき考え方を取りまとめることになりました。このため、環境リスク研究センターでは、2008年度から環境省のガイドライン策定に向けた検討を行ってきました。評価手法の検討、ガイドライン改定案の作成などの検討はおよそ6年間にわたりましたが、その成果を踏まえ、2014年4月、ガイドラインは「今後の有害大気汚染物質の健康リスク評価のあり方について」および別紙「指針値設定のための評価値算出の具体的手順」として全面的に改定されました\*。大気中の有害な化学物質の濃度を知ることは、私たちの環境が健全であることを知る重要な尺度です。優先取組物質については、大気汚染防止法に基づいて、地方公共団体などにより、全国の300から400カ所の地点で大気中の化学物質濃度が測定されています。全国を網羅した大気環境モニタリングはわが国独特の仕組みです。

\*環境省 HP  
<http://www.env.go.jp/press/18103.html>  
<http://www.env.go.jp/press/files/jp/24460.pdf>

## 国立環境研究所では

1974年に国立公害研究所（現・国立環境研究所）が設立された時期には、大気汚染や重金属による健康被害への対応が社会の大きな問題になっていました。研究所の健康影響研究の大きな柱のひとつが、窒素酸化物やオゾンなどを低濃度で長期間マウスやラットなどの実験動物に曝露し、その影響の程度とメカニズムを明らかにすることでした。その後、1990年代には、ディーゼル排気を実験動物に曝露して影響を解明する研究が大きく進みました。さらに、2001年に、PM2.5の環境への排出、動態、健康影響を総合的に解明するプロジェクト研究を開始しました。

一方、環境中の化学物質の健康影響の研究は、研究所の設立当初から実施していましたが、リスク研究の一環として本格的に取り組むため、2001年に現在の環境リスク研究センターの前身である化学物質環境リスク研究センターを設立しました。同時に、環境ホルモン・ダイオキシン研究プロジェクトを開始し、国立環境研究所として大きな規模で環境化学物質の影響とリスクを明らかにする研究を進めることになりました。

さらに、2006年から重点研究プログラムの中でディーゼル排気に含まれるナノ粒子の健康影響に関する研究プロジェクトを開始し、実験動物への曝露装置を用いた健康影響の研究などに大きな成果を上げています。現在は、ナノマテリアルや自動車排気などから排出される化学物質から光化学反応により生成される二次生成粒子など、粒子状物質の影響に着目した研究が「環境リスク研究プログラム」で進んでいます。二次生成粒子に含まれる化学物質は生体成分と反応性が高く、大気成分の影響として大きな課題です。

# 国立環境研究所における 「有害大気汚染物質の リスク評価手法に関する研究」のあゆみ

国立環境研究所では、環境リスクとその評価・管理の方法に関する様々な研究を行ってきました。ここでは、その中から、大気中に存在する有害化学物質のリスク評価手法の開発と遺伝子導入動物の開発・活用に関する実験的研究のあゆみを紹介します。

年度	課題名
1995～1999	環境モニタリング手法開発のための基盤技術研究 <sup>(*1)</sup>
2000～2002	トランスジェニックゼブラフィッシュを用いた複合汚染水の総合的毒性評価法の開発 <sup>(*2)</sup>
2001～2005	リスク管理へのバイオアッセイ手法の実用化
2002～2004	遺伝子欠損マウスを用いた大気からの変異原物質曝露の鋭敏な検出と影響評価 <sup>(*2)</sup>
2003～2005	遺伝子組換え生物の開放系利用による遺伝子移行と生物多様性への影響評価に関する研究 <sup>(*3)</sup>
2005～2006	大気中の変異原物質に対して加齢動物が示す感受性の定量的評価 <sup>(*2)</sup>
2006～2010	発がん性評価と予測のための手法の開発
2008～2010	環境化学物質の生殖細胞に対する遺伝毒性リスク評価法の開発に関する研究 <sup>(*4)</sup>
2009～2011	都市大気中の浮遊粒子成分が動物体内で示す変異原性と次世代影響の評価 <sup>(*2)</sup>
2011～2015	化学物質の作用機序に基づく生物試験手法の開発
2013～2015	過去の大気浮遊粒子曝露が現在の肺がん発症等の健康リスクに及ぼす影響の評価 <sup>(*2)</sup>

\*1 科学技術振興機構 重点研究支援協力員派遣事業

\*2 文部科学省（日本学術振興会）科学研究費補助金

\*3 環境省 地球環境研究総合推進費

\*4 環境省 地球環境保全等試験研究費（公害防止等試験研究費）

本号で紹介した研究は、以下の機関、スタッフにより実施されました（所属は当時、敬称略、順不同）。

〈研究担当者〉

国立環境研究所：青木康展、松本理、天沼喜美子、橋本顯子、佐藤陽美、長屋雅人、中村卓、中島大介、後藤純雄、柳澤利枝、中杉修身、白石寛明

共同研究者：能美健彦（国立医薬品食品衛生研究所）、増村健一（国立医薬品食品衛生研究所）、山本雅之（東北大学大学院）、武田洋幸（東京大学大学院）、天沼宏（理化学研究所）、内山巖雄（京都大学大学院）

「今後の有害大気汚染物質の健康リスク評価のあり方について」の検討に参画頂いた先生方



## ● 過去の環境儀から ●

これまでの環境儀から、環境リスクとその評価・管理方法に関するものを紹介します。

### NO.54 環境と人々の健康との関わりを探る

#### — 環境疫学

研究所では、環境と健康との関わりについて、実験研究と疫学研究の二つの異なる手法を用いた研究に取り組んでいます。本号では、「環境疫学」が、人々の健康状態と環境との関わりを探ることによって、人の集団における健康問題に対する予防や対策に役立つことを解説するとともに、長年取り組んできた大気汚染の健康影響に関する疫学研究と、近年取り組む、子どもの健康と環境に関する全国調査（エコチル調査）を中心に紹介しています。

### NO.50 環境多媒体モデル

#### — 大気・水・土壌をめぐる有害化学物質の可視化

化学物質は、環境中のさまざまな媒体（大気・川や湖・土壌など）の中を移動あるいは分配されます。環境中に放出された化学物質が、いつ、どこに、どのくらい出現するかを正確に予測することが、人と環境に悪影響を与えないよう、適切に管理するために重要です。研究所では、大気、水、土壌などの環境多媒体モデルを用いて、環境中の化学物質の動態を予測し、化学物質の管理に応用する研究に取り組んでいます。本号では、地理情報を環境管理に応用する環境多媒体モデル「G-CIEMS」を中心に紹介しています。

### NO.47 化学物質の形から毒性を予測する

#### — 計算化学によるアプローチ

研究所では、化審法に生態影響評価が導入されたことをきっかけに、水生生物による生態毒性試験の標準化や生態毒性を計算機で予測するための研究を行っています。本号では、化学物質の毒性の予測システムの開発について紹介しています。

### NO.46 ナノ粒子・ナノマテリアルの生体への影響

#### — 分子サイズにまで小さくなった超微小粒子と生体との反応

ナノマテリアルとは、非常に小さなサイズの物質をいいます。きわめて分子に近い生体内挙動を示すので、人体に対して、これまでの粒子とは異なる影響を及ぼす可能性があります。本号では、研究所が取り組む、ナノ粒子やナノマテリアルのヒトの健康への影響を中心とした安全性評価に関する研究について、その概要と成果を紹介しています。

### NO.22 微小粒子の健康影響

#### — アレルギーと循環機能

研究所では、1990年代からディーゼル排気に関する研究を始め、2001年度からは大気中微小粒子状物質（PM2.5）・ディーゼル排気粒子（DEP）等の大気中粒子状物質の動態解明と影響評価の研究を行っています。本号では、DEPなどの微小粒子のアレルギーや免疫機構に及ぼす影響や循環機能に関する研究の成果を紹介しています。

## 環境儀 No.56

— 国立環境研究所の研究情報誌 —

2015年3月31日発行

編集 国立環境研究所編集委員会

（担当WG：田中嘉成、青木康展、松本理、石垣智基、小林弥生、近藤美則、滝村朗）

発行 独立行政法人 国立環境研究所

〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2

問合せ先 国立環境研究所情報企画室 pub@nies.go.jp

編集協力 有限会社サイテック・コミュニケーションズ

無断転載を禁じます

## 「環境儀」既刊の紹介

<b>No.10</b> 2003年 10月	オゾン層変動の機構解明—宇宙から探る 地球の大気を探る	<b>No.33</b> 2009年 7月	越境大気汚染の日本への影響—光化学オキシダント増加の謎
<b>No.11</b> 2004年 1月	持続可能な交通への道—環境負荷の少ない乗り物の普及をめざして	<b>No.34</b> 2010年 3月	セリング型洋上風力発電システム構想—海を旅するウィンドファーム
<b>No.12</b> 2004年 4月	東アジアの広域大気汚染—国境を越える酸性雨	<b>No.35</b> 2010年 1月	環境負荷を低減する産業・生活排水の処理システム—低濃度有機性排水処理の「省」「創」エネ化～
<b>No.13</b> 2004年 7月	難分解性溶存有機物—湖沼環境研究の新展開	<b>No.36</b> 2010年 4月	日本低炭素社会シナリオ研究—2050年温室効果ガス70%削減への道筋
<b>No.14</b> 2004年 10月	マテリアルフロー分析—モノの流れから循環型社会・経済を考える	<b>No.37</b> 2010年 7月	科学の目で見える生物多様性—空の目とミクロの目
<b>No.15</b> 2005年 1月	干潟の生態系—その機能評価と類型化	<b>No.38</b> 2010年 10月	バイオアッセイによって環境をはかる—持続可能な生態系を目指して
<b>No.16</b> 2005年 4月	長江流域で検証する「流域圏環境管理」のあり方	<b>No.39</b> 2011年 1月	「シリカ欠損仮説」と海域生態系の変質—フェリーを利用してそれらの因果関係を探る
<b>No.17</b> 2005年 7月	有機スズと生殖異常—海産巻貝に及ぼす内分泌かく乱化学物質の影響	<b>No.40</b> 2011年 3月	VOCと地球環境—大気中揮発性有機化合物の実態解明を目指して
<b>No.18</b> 2005年 10月	外来生物による生物多様性への影響を探る	<b>No.41</b> 2011年 7月	宇宙から地球の息吹を探る—炭素循環の解明を目指して
<b>No.19</b> 2006年 1月	最先端の気候モデルで予測する「地球温暖化」	<b>No.42</b> 2011年 10月	環境研究 for Asia/in Asia/with Asia—持続可能なアジアに向けて
<b>No.20</b> 2006年 4月	地球環境保全に向けた国際合意をめざして—温暖化対策における社会科学的アプローチ	<b>No.43</b> 2012年 1月	藻類の系統保存—微細藻類と絶滅が危惧される藻類
<b>No.21</b> 2006年 7月	中国の都市大気汚染と健康影響	<b>No.44</b> 2012年 4月	試験管内生命で環境汚染を視る—環境毒性の <i>in vitro</i> バイオアッセイ
<b>No.22</b> 2006年 10月	微小粒子の健康影響—アレルギーと循環機能	<b>No.45</b> 2012年 7月	干潟の生き物のはたらきを探る—浅海域の環境変動が生物に及ぼす影響
<b>No.23</b> 2007年 1月	地球規模の海洋汚染—観測と実態	<b>No.46</b> 2012年 10月	ナノ粒子・ナノマテリアルの生体への影響—分子サイズにまで小さくなった超微小粒子と生体との反応
<b>No.24</b> 2007年 4月	21世紀の廃棄物最終処分場—高規格最終処分システムの研究	<b>No.47</b> 2013年 1月	化学物質の形から毒性を予測する—計算化学によるアプローチ
<b>No.25</b> 2007年 7月	環境知覚研究の勧め—好ましい環境をめざして	<b>No.48</b> 2013年 4月	環境スペシメンバンキング—環境の今を封じ込め未来に伝えるバトンリレー
<b>No.26</b> 2007年 10月	成層圏オゾン層の行方—3次元化学モデルで見るオゾン層回復予測	<b>No.49</b> 2013年 7月	東日本大震災—環境研究者はいかに取り組むか
<b>No.27</b> 2008年 1月	アレルギー性疾患への環境化学物質の影響	<b>No.50</b> 2013年 10月	環境多媒体モデル—大気・水・土壌をめぐる有害化学物質の可視化
<b>No.28</b> 2008年 4月	森の息づかいを測る—森林生態系のCO <sub>2</sub> フラックス観測研究	<b>No.51</b> 2014年 1月	旅客機を使って大気を測る—国際線で世界をカバー
<b>No.29</b> 2008年 7月	ライダーネットワークの展開—東アジア地域のエアロゾルの挙動解明を目指して	<b>No.52</b> 2014年 4月	アオコの有毒物質を探る—構造解析と分析法の開発
<b>No.30</b> 2008年 10月	河川生態系への人為的影響に関する評価—よりよい流域環境を未来に残す	<b>No.53</b> 2014年 6月	サンゴ礁の過去・現在・未来—環境変化との関わりから保全へ
<b>No.31</b> 2009年 1月	有害廃棄物の処理—アスベスト、PCB処理の一翼を担う分析研究	<b>No.54</b> 2014年 9月	環境と人々の健康との関わりを探る—環境疫学
<b>No.32</b> 2009年 4月	熱中症の原因を探る—救急搬送データから見るその実態と将来予測	<b>No.55</b> 2014年 12月	未来につながる都市であるために—資源とエネルギーを有効利用するしくみ

●環境儀のバックナンバーは、国立環境研究所のホームページでご覧になれます。  
<http://www.nies.go.jp/kanko/kankyogi/index.html>

## 「環境儀」



地球儀が地球上の自分の位置を知るための道具であるように、「環境儀」という命名には、われわれを取り巻く多様な環境問題の中で、われわれは今どこに位置するのか、どこに向かおうとしているのか、それを明確に指し示すべしという意図が込められています。「環境儀」に正確な地図・行路を書き込んでいくことが、環境研究に携わる者の任務であると考えています。

2001年7月 合志 陽一  
 (環境儀第1号「発刊に当たって」より抜粋)



このロゴマークは国立環境研究所の英語文字 N.I.E.S で構成されています。N=波(大気と水)、I=木(生命)、E=Sで構成される○で地球(世界)を表現しています。ロゴマーク全体が風を切ったように進む動きは、研究所の運動性・進歩・向上・発展を表現しています。

リサイクル適性 (A)

この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。