

# 大気汚染環境プロジェクト

窒素酸化物・その諸対象に及ぼす影響と実地測定の考察

ボーイスカウト上尾地区 上尾第9団

ベンチャー隊 増田 浩一

# 窒素酸化物 その諸対象に及ぼす影響と実地測定結果の考察

3年D組33番 増田 浩一

## 目次

目次.....1-2

第1章 はじめ.....3

第2章 地球物質循環と窒素.....4

第1節 地球大気の形成 - 酸素を多量に含んだ大気の形成 -

第1項 地質学的な物質循環と生物地球科学的な物質循環

第2項 初期地球での大気の蓄積

第2節 原始大気成分から現在の地球大気へ

第1項 大気形成の過程

第2項 大気形成と窒素

第3節 窒素の循環と地球大気環境

第1項 大気中の炭素の消失と窒素

第2項 大気環境と窒素酸化物

第3章 窒素酸化物.....10

第1節 人間が利用してきた大気の性質 - 燃焼 大気中の酸素の利用 -

第2節 窒素酸化物の生成

第1項 窒素酸化物の定義

第2項 化学的性質

第3節 窒素酸化物の発生源

第1項 自然発生源

第2項 人口発生源

第4節 大気中に捨てられたものの行方

第4章 窒素酸化物の影響.....16

第1節 窒素酸化物の生態系への影響

第1項 植物群落および生態系に及ぼす窒素酸化物の影響

第2項 動物共同体に及ぼす窒素酸化物の影響

第 3 項	植物群落に及ぼす窒素酸化物の影響	
第 2 節	窒素酸化物の人体および動物への影響	
第 3 節	環境基準	
第 1 項	日本の窒素酸化物環境基準	
第 2 項	WHO のガイドライン	
第5章	窒素酸化物の測定	20
	測定の目的	
	測定器具	
	測定の手順	
	測定結果	
	測定結果の分析	
第6章	おわりに	40
参考文献	図表の引用	41-42

## 第1章 はじめに

最近になって国や企業のレベルで地球環境の改善のための会議や意見交換、技術が次々に催されまた開発されてきている。行政機関でさえも、その重い腰を上げようやく環境対策に真剣に取り組み始めている。確かに地球は汚れている。我々はそれを知っている。テレビや新聞では日本国内に限らず世界の環境汚染の現状が伝えられるから。しかし我々という個人の人間はそれを見て何を考え、どのような行動に出ているだろうか、まさに今。そしてその知識はどれほどのものなのだろうか。一昔前ならば、他人事だったかもしれない環境汚染。だが今、周りをよく見回すときとそれがかなり身近な、そしてもっと恐ろしいものに気がつくはずだ。

本論は毎日の生活に欠かせない空気の汚染、大気汚染を通してその実態と身近な空気の汚れを調査報告するとともに、身近な大気汚染がどの程度進行しているのか考察するものである。大気汚染の中でも比較的測定の容易に出来る窒素酸化物 ( $\text{NO}_x$ ) を主題にすえ、論を進めてゆく事とする。人は1日に何百リットルもの空気を肺に取り入れ体内に酸素をめぐらせている。安全だと思われた今自分の呼吸した空気が汚染物質で満ち溢れていたら。それでも我々は呼吸をして生を営まなくてはならない。そんな大切な空気なのだから、まさに今その実態をつかむ事が大切なのである。

## 第2章 地球の物質循環と窒素

人間の活動は地球システムの長い歴史の遺産によって支えられているが、現在では人間活動が地球システムの安定性を揺るがしている。大気中の酸素を意図的に使う事は、今日の人間活動を支えている基本的な行為（広い意味の技術）である。これは、多量の物質を地質学的な物質循環から取り出して酸化反応を通して生物地球科学的な物質循環に注入するプロセスとして捉えることが出来る。そのように考えると、地球史（その中でも生命活動が盛んになってからの地球表層における歴史）と人間活動とのかかわりを視野に置きながら、現在の人間活動の環境への影響を考察する必要がある。

### 第1節 地球大気の形成 - 酸素を多量に含んだ大気の形成 -

#### 第1項 地質学的な物質循環と生物地球科学的な物質循環

現在の地球の大気組成のうち最も大きな役割を占めている窒素（ $N_2$ ）は、科学的に安定な物質であり、また太陽放射や地球放射に対して比較的透明であるために関心と呼ぶ事が少ない物質である。しかし、人間活動は、このような安定な物質でさえ酸素（ $O_2$ ）と反応する様な状態を作り出し、多量の窒素酸化物（ $NO_x$ ）を大気中に放出するようになっている。 $N_2$ は科学的にはきわめて安定で反応性に乏しい物質であるが、ひとたび $NO_x$ に姿を変えると大変本能的に富んだ物質となる。この物質の一面を、 $NO_x$ が多量に大気中に放出された場合に生じる環境の酸性化に見出す事が出来る。人間活動に伴うこのような $NO_x$ の生成も（さらには $NO_x$ が引き起こす地球環境の変化も）、もともとは人間活動が「物を燃やす」（この場合には $N_2$ を燃やすというべきであるが）ことに起因している。

大気にかかわる地球環境現象を物質の循環という視点で捉えると、その現象がどのように地球システムと関わっているのかが理解しやすい。物質の循環は、造山運動、火山活動、マントルの対流などの地質学的な現象が関与する「地質学的な物質循環」と、生物活動、大気や海流の運動が直接的に関与する「生物地球科学的な物質循環」に分けて考えることが出来る。前者の時間スケールは極めて長く、数十万年から数千万年のスケールのプロセスが強い相互作用をしながら物質循環系を作っている。それに反して生物地球科学的物質循環は、かなり時間スケールが短くせいぜい2000年程度であり、両者の間には時間応答に対して明確な差がある。人間活動は、多くの資源を地質学的物質循環システムの中から取り出して利用しており（もちろん生物地球科学的物質循環システムからも取り出しているが）、利用後には生物地球科学的物質循環システムに放出している。このために、生物地球科学的物質循環システムの物質の循環量が部分的に急増し、地球表層にはこれまでに経験しなかった現象（地球環境問題）が生じているものと考えられる。

このような物質循環を把握しつつ、地球大気がどのように形成されてきたかを考察の参考に加える。

## 第2項 初期地球での大気の蓄積

現在の太陽系の惑星形成理論に従えば、地球型惑星（水星、金星、地球および火星）は、ほぼ同時期の46億年前に形成されたと考えられており、形成過程についても、いずれも微惑星（直径10 km程度の小天体）の衝突によって惑星まで成長したものとされている。形成過程が同じであっても、46億年経過した今では太陽の最も近くに位置する水星はほとんど大気を持っていないらしく、地球の隣にある火星や金星はCO<sub>2</sub>を主体とする大気を持つようになっている。ところが、地球はこれらの惑星と異なりO<sub>2</sub>を多量に含んだ大気を持つ事になった。地球だけが遊離酸素（O<sub>2</sub>）を多量に含んだ大気を持っているのである。

地球形成時、活発な微惑星の衝突によって地球の質量が次第に増して行く一方で、地球表層はしばしば衝撃波の通過によって高温高压状態に置かれた。よく知られているように、衝撃波が通過した後は大気の温度はもとの温度に戻らずに以前の温度よりも高い状態になる。高速で地球に衝突する微惑星の運動エネルギーは、地表面を加熱する熱となって解放され地表面を溶けたマグマ状態にする（マグマオーシャン）。地球の重力に引き付けられている大気は、マグマオーシャンからの加熱に加え、度重なる衝撃波の通過によっても加熱される。地球の質量が大気を長時間保持するにはまだまだ不十分であった頃は、このような高温状態にあった事もあって、地球の重力圏にとらわれたガスは比較的短い時間に宇宙空間へ散逸して行ったものと考えられる。

地球の質量がおおよそ $10^{20} \sim 10^{23} \text{ kg}$ 程度（参考：月は $7.35 \times 10^{22} \text{ kg}$ ）にまでなると、ある程度の時間大気を保持できるようになる。気体の熱運動のエネルギーと地球の運動エネルギーの大きさを比べると、地球表面の気温を100～1000 K程度と仮定すると、上記の質量に対しておおむね以下の関係をみたすことがわかる。

$$G(M/R) > 3k_B / 2 \mu m$$

ここでGは万有引力定数、 $\mu$ は気体の分子量、 $m$ は水素分子の質量、 $M$ は地球の質量、 $R$ は地球半径、 $k_B$ はボルツマンの定数である。

地球が大気を持てるような大きさになったときの地球大気（これをここでは原始大気と呼ぶ）は、太陽の大気（水素やヘリウムを主要な成分とする）に近いものであったろうと想像される。太陽組成に類似した原始大気成分に加え、微惑星の衝突過程で盛んに岩石から脱ガスしてくる大気成分の蓄積、高温状態のもとでの地球からのガスの散逸、強い紫外線によって生じる光化学反応などが、比較的初期に地球の大気の成分や分布を決めた要素ではないかと考えられる。

## 第2節 原始大気成分から現在の地球大気へ

### 第1項 大気形成の過程

現在の地球大気的主要な揮発性元素の存在度、水（水蒸気、陸水、海水、氷など）の存在量、

希ガスの存在度などを総合すると、現在の地球大気を作っている成分は、原始大気に近いものではなく、固体地球の内部から出てきた（脱ガス）もので形成されたと考えられている。その脱ガスは地球形成の比較的初期に行われた。大気の微量成分であるアルゴン（Ar）が手がかりを与える。大気中の $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ を比べArの脱ガスの様子を推定すると、初期の地球内部のある揮発性の物質は地球形成後10億年以内にその80%以上が脱ガスしている可能性が高いことが示された（Hamano and Ojima, 1978）。大気中の脱ガスの時間的な変動の様子は不明であるが、比較的初期の段階で大量の脱ガスが生じたとすると海洋の形成や塩素（Cl）や窒素（N）の存在量に関して都合がよく説明がつく。

脱ガスと並行して、地球表層から内部にいたる地質学的な物質循環システムが形成され、きわめて長い時間スケールにわたって種々の物質の分布が物質の循環系によって規定されていく。揮発性の物質は大気の主要な成分を作る。水蒸気（ $\text{H}_2\text{O}$ ）は変動の大きな成分であるが、地球誕生初期には地表は水蒸気の厚い雲に覆われていた。地球の温度が下がるにつれて、水蒸気の液化が盛んに進み地球は海洋を持つようになる。この頃の地球大気は $\text{CO}_2$ や水蒸気を主要な成分とするものであったろうと考えられる。地球に海洋が形成された後、海洋の中で生命体が発生し、長い時間をかけて生物進化の道を歩み始めた。進化の途上で炭酸同化作用を行う生物が登場してくるに及んで、地球の大気に含まれている $\text{CO}_2$ はこれらの植物の体を形成するために盛んに植物体の中に取り込まれ、

$\text{O}_2$ が植物から放出される。海中にある植物の量が次第に増加するに従い、放出される $\text{O}_2$ の量は増加しやがて大気中に遊離酸素が蓄積されていく。同時に大気中の $\text{CO}_2$ はそれらの生物の体を作るために消費され、次第に大気の中から除かれてゆき、大気の主要な成分の役目を $\text{O}_2$ や $\text{N}_2$ に譲っていくことになる。このようにして、今日見るような $\text{N}_2$ がおおよそ78%（体積比）、 $\text{O}_2$ が21%、その他の成分が1%の大気が出来上がったのである図1。

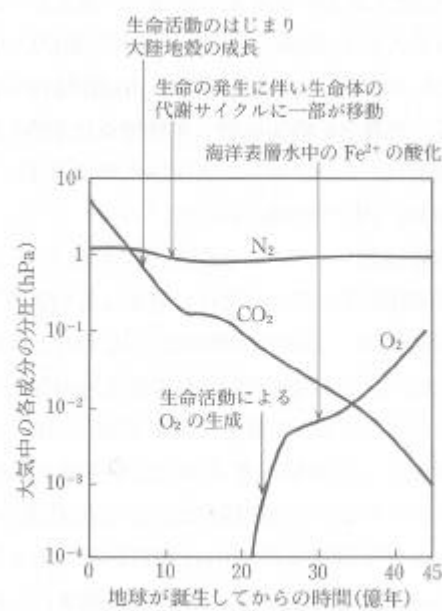


図1 地球誕生後の大気組成の変化(Tajika and Matsui, 1992)。

## 第2項 大気形成と窒素

この中でも $\text{N}_2$ は比較的早い段階での脱ガスによって大気中に蓄積された量を維持しているものと考えられている。 $\text{N}_2$ が科学的に安定であることと、 $\text{N}_2$ の量が比較的変動せずに維持されてきたこととは深い関係がある。化学的に安定であるために、種々の物質循環系に取り込まれるこ

となく大気中の濃度をほぼ一定に維持してきたと考えられる。この成分があまり濃度を変えなかったために、大気の熱容量がほぼ今の程度に保たれており地球大気の熱的変動を緩慢なものにしている可能性が高い。もしこの成分が科学的に活性の高いものであれば、地球システムの様々な物質循環系に関与し $N_2$ 自身の濃度も大きく変動してきたであろう。図1から読み取れるように、 $CO_2$ や $O_2$ の濃度が数十億年の時間スケールで3桁も4桁も変動してきたことを考えると、 $N_2$ 濃度の安定性は注目されて良い。

### 第3節 窒素の循環と地球大気環境

窒素( $N_2$ )は科学的に安定な物質であるために、 $N_2$ それ自体の形で科学的に地球大気環境と関係する事は少ない。現在の地球大気の最も大きな割合を占めている $N_2$ が関与する物質循環形が形成されなかった(例えば、 $N_2$ を直接利用する生き物が地球上に現れなかった)のはなぜか、大変興味深い問題ではある。いずれにせよ地球環境から見ると $N_2$ が地球表層の生物地球科学的循環に登場するのは、アンモニア( $NH_3$ )、硝酸( $HNO_3$ )あるいはそれらの塩の形を取ったときである。

#### 第1項 大気中の炭素の消失と窒素

地球大気が形成され始めた時期には、前述の通り、大気の中心的な組成は $CO_2$ であったと考えられる。このことから、大気からの $CO_2$ の除去が、今日見るような大気を作った重要なプロセスとみなされる。大気中からの $CO_2$ の除去は、地球上に登場した生命によってなされ、しかもその事が多量の $O_2$ を大気中にもたらした事も既に述べた。この間、大気中の $N_2$ は比較的初期の濃度を維持し、主要成分であった $CO_2$ が濃度を低下させるに連れて大気全体の中で占める割合を増してきたものと考えられている。

$N_2$ は科学的に安定であったために、地球上の物質循環系においては議論される事が少ない物質ではあるが、このことをもって $N_2$ を大気環境科学的に興味の少ない物質とみなす事は出来ない。 $N_2$ は、地球上の植物に対しては大変面白い関係にあったり、人間にとって大気が化学的に比較的穏和な存在になっている点など今後さらに深い理解が望まれる物質である。大気的主要な成分が全て化学的に活性の高いものであるような大気を想像する事は難しい。言える事は、そのような大気は大変不安定なものになるという事であろう。森林の火災などの発生率が地球大気中の $O_2$ 濃度によって著しく変化する可能性が示されているが、このような可能性一つ考えても地球上の物質循環系に全ての大気成分が強く関わるような大気はある種の危うさを持つのではなかろうか。

#### 第2項 大気環境と窒素酸化物

地球の大気中に存在する、本来の窒素酸化物の姿を求める。地球上に植物が登場してかなり早い時期から、 $N_2$ を含む栄養素は窒素固定細菌( $N_2$ をアンモニア( $NH_3$ )に還元する作用をす



る)の力を借りて植物が取り込みやすい $\text{NH}_3$ として利用してきたと考えられる。動物の死骸や排泄物はアンモニアの大きな発生源である。枯れた植物が分解されたときにもアンモニアが発生する。植物が、動物が不要になったものを利用している点から見ると動物が吐き出す $\text{CO}_2$ を植物が利用している構造とよく似たところがある。

窒素化合物のうち、硝酸イオン( $\text{NO}_3^-$ )となったものは植物に利用されている。熱帯雨林は文字通り雨の多いところに見られる森林である。我々は森林の維持に水分が必須のものである事は良く知っているが、雨の多い熱帯が一方では雷の発生が極めて多いところであるという事が森林の維持と深い関係にあることにあまり注目されていない。地球システムの主要な部分を占めてきた植物は、大気中の $\text{N}_2$ を直接利用することが出来ず、アンモニウムイオン( $\text{NH}_4^+$ )や硝酸イオンになったものを利用している。雷は、大気中に窒素酸化物( $\text{NO}_x$ )を発生させる重要なプロセスである。 $\text{NO}_x$ は水に溶け込んだり、エアロゾル化したりして、硝酸イオンの形を取って植物に必要な栄養素として取り込まれていく。 $\text{NO}_x$ は森林の火災(森林火災は人為的な原因で起きる事もあるが、自然発火などによっても引き起こされる)などによってもかなりの量の発生があり、人類がこの地に出現する以前から大気中で精製されて植物に利用されていたと想像される。植物が利用できる窒素酸化物がアンモニアと $\text{NO}_3^-$ である点は、地球環境の巧妙さを考えさせるものである。

しかし、人間活動の自然への介入が窒素の循環に変化をもたらした。 $\text{NO}_3^-$ は、地球大気の $\text{O}_2$ と反応して生じたものであり人間活動とのつながりが強い。アンモニアについても、農業活動が地球環境へ影響している。農業という技術がこの世に出現してからは、大気中の窒素の循環という視点から見て、人間が狩猟採集を中心とした時代とは比較にならないほど強い影響を地球環境に与えるようになった。農業の中で、作物に肥料を与える技術は最も重要な技術の一つである。人類が、農作物と呼んでいる植物を大量に組織的に生産しようとするならば、これらの植物にさまざまな栄養素を与え生育を促進させようとするのは当然の流れである。栄養素のうちでも、農作物(という名の植物)が直接大気からとることの出来ない窒素を農作物が取りやすい形の窒素化合物(このような機能を持った窒素化合物を、窒素肥料という)として意図的に農作物に与える事になる。

人間活動の拡大と共に、肥料の形で農作物に投入される窒素の量は次第に増加し、人間活動が顕在化しない時代と比べるとその量は著しいものになっている。窒素肥料の使用量の増加によって地表面の微生物などが窒素代謝を通して大気中に放出する亜酸化窒素( $\text{N}_2\text{O}$ )の大気中の濃度は、近年、急速に増加し地球を温暖化する物質のひとつとして注目を浴びている。

このように見えてくると、人間活動が窒素の循環に与える影響は2つの大きな方向があり、一つは酸化的な環境を直接的に利用することによって生じる $\text{NO}_x$ の大量発生に基づくものであり、他の一つは間接的なものであり、農業を通した窒素肥料の使用に伴って生じる $\text{N}_2\text{O}$ の濃度増加である。前者は人体に悪影響を及ぼす物質であり、また環境の酸性化の大きな原因となっている。そして後者は地球温暖化の原因を作っている。 $\text{N}_2$ は比較的安定な物質であるがゆえに反応性

に乏しく、また太陽放射に対しても透明であるために、大気環境科学という点では注意を引く事の少ない物質ではあるが、近年の人間活動の大きさはこのような物質をも大気環境を急速に変化させる物質に変換させる規模になっているのだ。

### 第3章 窒素酸化物

窒素酸化物は文字通り窒素が酸化された物質である。つまり窒素を燃やして生成される訳だが、このことがこの物質と人間との関係をより深いものになっている。まず人間と燃焼について、そしてそこから生まれる窒素酸化物について論を進めたいと思う。

#### 第1節 人間が利用してきた大気の性質 - 燃焼 大気中の酸素の利用 -

古い時代から人間活動は、大気中に大量の酸素が存在する事を前提とする技術によってきた。「物を燃やす」という行為は、エネルギーの獲得を始め人間活動の基盤をなしている。地球の大気の大きな特徴の一つに、高濃度の酸素 ( $O_2$ ) を含んでいる点をあげる事が出来る。このことは、既に第2章の地球大気の成立で触れた。酸素に富んだ大気が出来た事の必然的な結果として成層圏にオゾン層が成立する。オゾン層が今日見られる程度の厚さ (濃度) になって、陸上は有害な太陽紫外線の脅威から免れる事になり、陸上生態系が爆発的に発展する本質的な環境が整った事は容易に想像できる。

ところで、この酸素は、科学的に見ると大変に活発な物質でいろいろなものと反応する。この危険極まりない物質との積極的な付き合いこそ、今日の人間が作り上げてきた文明の基盤になっている。

しばしば、人間は「火を使う動物である」といわれている。人間は、目的を持って物を燃やす事によってさまざまな利便性を自然から得てきた。ささやかな明かりを得る事から国全体はもちろん世界規模の経済活動まで、物を燃やすことは現在の社会では広い範囲で見られる。よく燃え、運搬や取り扱いが容易で、人間が入手できる範囲に大量に存在するものを燃料あるいはエネルギー資源と呼んでいる。現在の代表的エネルギー資源は、石油、石炭、天然ガス、ウランなどであり、ウラン以外のものは化石燃料と一まとめに呼ぶ事もある。

また注目すべきは、人間は不要となったものの処理法として燃焼を用いている点である。人間活動に伴って不要となって捨てられるもの (一般には廃棄物および排ガスという名で呼ばれるが、何が捨てられるかは人間活動の規模や様式などによるために時代差・地域差が大きい) の処理もまた大きな問題である。日本においては、ゴミの処理方法として焼却処理が広く行われており、ここにおいても「燃やす事」が本質的なプロセスになっている。酸素との反応が、エネルギーを取り出すときにも必要であり、そのエネルギーを使って活動 (生産、日常生活、その他) した結果生じる不要なものの始末にも焼却という手段が使われている。大気中の酸素の存在がいかにわれわれの生活に結びついているかよく分かる。化石燃料やその他の物を燃やす事によって発展してきた人間の文明は、2つの大きい問題に直面している。ひとつは、化石燃料が有限である事から発生する「エネルギー資源の枯渇とそれに伴う問題」であり、他の一つは、化石燃料を使用した後には発生するもの (大気環境では種々のガスやエアロゾル粒子が注目されている) の影響に関わる問題である。物を燃やす人類の行為は、いまや大気環境を大きく変える要因であり、窒素酸化物 ( $NO_x$ ) の大量放出による環境の酸性化などはまさにその代表的なものである。

## 第2節 窒素酸化物の生成

### 第1項 窒素酸化物の定義

窒素酸化物 (nitrogen oxides,  $\text{NO}_x$ ) とは、広義では表1に挙げた全ての化合物の総称であるが、狭義には環境科学的に問題となる一酸化窒素 ( $\text{NO}$ ) と二酸化窒素 ( $\text{NO}_2$ ) のみをさす。大気中の窒素酸化物の濃度は、通常 ppm (parts per million) またはその 1000 分の 1 の ppb (parts per billion) で表される。

表1 窒素酸化物

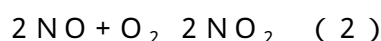
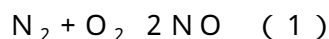
名 称	英 語 名	化学式
亜酸化窒素	nitrous oxide	$\text{N}_2\text{O}$
一酸化窒素	nitric oxide	$\text{NO}$
三酸化二窒素	dinitrogen trioxide	$\text{N}_2\text{O}_3$
二酸化窒素	nitrogen dioxide	$\text{NO}_2$
四酸化二窒素	dinitrogen tetroxide	$\text{N}_2\text{O}_4$
五酸化二窒素	dinitrogen pentoxide	$\text{N}_2\text{O}_5$

### 第2項 化学的性質

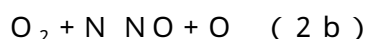
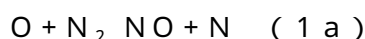
窒素は +5 から -3 までの酸化数をとる。各酸化数に対応する代表的な化合物を挙げると表1、2のようである。広義の窒素酸化物について、主な性質を次に述べる。但し、前述の通り環境問題に特に深く関わる一酸化窒素と二酸化窒素のみを本論は扱う事にする。

#### (1) 一酸化窒素 ( $\text{NO}$ )

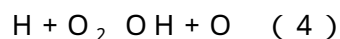
二酸化窒素 ( $\text{NO}_2$ ) とともに、都市大気中の人口発生源からの窒素酸化物を構成している。 $\text{NO}$  と  $\text{NO}_2$  は高温燃焼過程において、燃焼中の窒素および燃焼空気中の窒素と、酸素との反応によって生ずる。すなわち、炎の高温部では次の平衡が成立していると考えている。



この際、高温ほど  $\text{NO}$  が生成しやすい。反応 (1) は次の2つの素反応



からなり、反応 (1a) に必要な原子状酸素は、炎中での次の2つの反応



によって供給される。

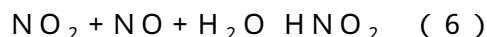
$\text{NO}$  は無色・無臭の気体で、水にわずかに溶解する。不対電子を1個有するので常磁性を示す。 $\text{NO}$  は遷移元素と錯体を作りやすく、例えば生体内のヘモグロビンのヘム鉄と結合して、ニトロシルヘモグロビンを形成する。ニトロシルヘモグロビンは  $\text{NO}$  に由来する常磁性を示すので、電子スピン共鳴法によって検出する事が出来る。

#### (2) 二酸化窒素 ( $\text{NO}_2$ )

$\text{NO}_2$  は褐色の気体で、強い刺激性のにおいがあり、きわめて腐食性に富んでいる。二酸化窒素は水と反応して、硝酸と亜硝酸を生ずる。



また、NOおよび水と反応して亜硝酸を生ずる。



大気中におけるNO<sub>2</sub>の主な生成源は、1次大気汚染物質であるNOの酸化であり、主として反応(2)の右向き反応によって進行すると考えられる。この反応の速度はNO濃度の2乗に比例するから、NO濃度が1ppm以下になると非常に遅くなり、酸素を含む大気中でもかなりの濃度のNOが存在しうる事となる。

### 第3節 窒素酸化物の発生源

#### 第1項 自然発生源

大気中のNOとNO<sub>2</sub>の自然発生源としては、土壌中の最近の作用、火山の噴火、雷光などがある。これらの自然発生源から生成されるNO<sub>x</sub>の量は、地球全体で年間約1.1×10<sup>9</sup>トンと見積もられている。この量は、人口発生源からの年間排出量約5.3×10<sup>7</sup>トン(1970年)に比べて圧倒的に大きい、地球全体にわたって広く分布するので、都市の大気中のNO<sub>x</sub>濃度に対する寄与は無視できるほど小さい。これに対して人口発生源は都市に集中しているから、それからの排出量は少なくとも、局所的な都市大気の汚染源としては重要となる。

#### 第2項 人口発生源

窒素酸化物の主な人口発生源は化石燃料の燃焼である。そして人口発生源から直接発生するNO<sub>x</sub>の内90～95%はNOである。各種の人口発生源から排出される窒素酸化物の年間総量を、いくつかの国別にまとめたのが表2である。一口に人口発生源と言っても次に挙げる4つに分類される。

##### (1) 固定発生源

固定発生源における燃料の燃焼によって排出されるNO<sub>x</sub>量は、日本、オランダ、イギリス、およびアメリカにおいて、それぞれ総排出量の60%、59%、

82%および44%を占めている。固定発生源の主なものは発電所で、イギリスとアメリカでは、大きな発電所からの排出量が総排出量のそれぞれ52%および21%を占める。工業用に燃焼によるNO<sub>x</sub>の排出量も総排出量中の大きな割合を占めるが、家庭での燃料燃焼は総排出量に対し5～6%寄与しかしていない。

##### (2) 移動発生源

移動発生源としては、自動車・バス・トラック・鉄道・航空機・船舶などがある。これらの中でガソ

表2 各国における諸種の発生源からの窒素酸化物の排出量

発 生 源	日 本 1972年	オランダ 1972年	イギリス 1970年	アメリカ 1970年
移動発生源	0.96	0.13	0.45	11.7
固定発生源における 燃料の燃焼	1.44	0.19	1.98	10.0
非燃焼性工業過程	—	—	—	0.2
そ の 他	—	—	—	0.9
計	2.40	0.32	2.43	22.8

(注) 単位: 10<sup>4</sup> トン/年。

(WHO: Oxides of Nitrogen, 1977)

リンを使用する自動車の寄与が最も大きい。表3によると、 $\text{NO}_x$ 総排出量に対する移動発生源からの排出量の割合は、日本40%、オランダ41%、イギリス18%、アメリカ51%である。

### (3) 非燃焼発生源

硝酸製造工場、電気メッキ工場、火薬工場、硫酸製造工場などが該当する。排出量は全国的に見れば少ないが、局地的には重要な事がある。 $\text{NO}_x$ の慢性影響の易学的調査の例

表3 各都市における  $\text{NO}_x$  の年平均濃度

年	ロッテルダム	ワシントン DC	フランクフルト/マイン	東京
1962		0.030	0.010	
1963		0.030	0.012	
1964		0.040	0.014	
1965		0.030	0.016	
1966	0.019		0.025	
1967	0.023	0.040	0.018	
1968	0.023		0.021	
1969	0.023		0.034	0.041
1970	0.024	0.050	0.044	0.039
1971		0.040	0.043	0.031

(注) 単位: ppm

(WHO: Oxides of Nitrogen, 1977)

としてよく引用されるアメリカのテネシー州チャタヌーガ地区の汚染は、TNT火薬工場が原因となったものである。サイロに貯蔵された牧草が細菌分解を受けて $\text{NO}_x$ を発生する事例もしばしば報告されている。

### (4) その他の発生源

室内汚染について考えるときは、石油ストーブ、ガスストーブのような暖房器具および喫煙による窒素酸化物の発生を無視する事は出来ない。

## 第4節 大気中に捨てられたものの行方

$\text{NO}_x$ の発生源を確認したところで気になるのが、大気中に無造作に巻き散らかさせた $\text{NO}_x$ の行方である。日常生活(あるいは産業活動)の中で使用済みとなって廃棄される物質の多くが、結局は大気中に捨てられている。 $\text{NO}_x$ のように気体の形で捨てる場合には、ほぼ100%近くが直接大気中に捨てられると見てよい。個体の形で捨てられるものでも、比較的早い段階で焼却( $\text{NO}_x$ の発生)によってかなりの部分をガス化して大気中に捨てている。また、固体状態の不要物であっても全てが埋め立てられるわけではなく、一部は地上に放置され太陽放射を受ける事や酸素その他と接する事によって固体が崩壊変化して処置される場合もある。このように見てくると、大気中の酸素の役目は、前述の人間にとって必要なものを手入れるためのエネルギーの使用、すなわち、化石燃料を燃やす事を元とする生産工程でのさまざまな「燃やす」に加えて、大気中の酸素のもう一つの役目が不要になって廃棄されたものの処置、すなわち、「燃やす事」なのである。この大気という廃棄場所(我々の感覚では「ゴミ捨て場」に近いであろうか)についても、かつては無限の容量が想定されていたために、「不要になったガスを大気中に捨てている」行為の影響に関して、我々の意識に上る事がほとんどなかった。しかし、今やこのゴミ捨て場は無限の容積を持っている容器ではない事をいやがおうにも認めざるを得ない状態になってきている。人間が住むところに林立している煙突の存在は、大気は「ゴミ捨て場である」と我々が考えてきた何よりの証拠である。なぜ大気がよいゴミ捨て場であるのだろうか。以下にいくつかの可能性を

挙げる。

(1)流動性の高い空間である。(2)降雨・降雪がある。(3)酸素が大気中に多量に含まれている。

流動性が高いという事は、我々が廃棄したガス状の物質やその他のものが大気の運動によって広い範囲に拡散し、気にならない(あるいは許容できる)程度の濃度に薄められることが期待できる。

不要のガスを大気中に排出する際に、煙突を使う事はかなり以前から行われている。煙突の近くで排ガスによる被害が顕在化すると、対策としてしばしば煙突を高くする事が行われる。より広い範囲に拡散させる意図のもとに行われるものであり、大気の流動性を当てにした技術である。排ガスを広範囲に浮遊させる事によって許容できる限度にまで濃度を低減する事に加えて、そのガスが拡散する途中で降水・降雪へ取り込まれたり、大気中の酸素との反応によって水に溶けやすい化合物に変換され(酸素との反応によって出来る者全て水に溶けやすいとは限らないが、後述するように我々の身近なものの多くの酸化物は水溶性のものである)、やがて大気中から消滅する可能性が高くなる。

雲と降水活動が地球大気できわめて活発である場合には、大気中に放出されたガス状物質の化学反応や輸送・循環がその事によって大きな影響を受ける。たとえば、降水に取り込まれたガスやエアロゾル粒子は、取り込まれる前に大気中に浮遊していた状態とは違って水と一緒に動く事になる。降水に取り込まれた物質は、大気中に浮遊していた状態に比べると格段に速い速度で地表面へ運ばれる。

降水に含まれているいろいろなイオン濃度や降水のpHを細かく調べると、雲や降水と大気中のガス状あるいは粒子状の物質との間に生じている関係について、きわめて興味ある変化が認められる。ではじめの段階の規模の小さな雲は、雲を取り巻く周囲の大気との混合の影響が出やすい。雲が次第に成長して容積が大きくなると雲を取り巻く空気との交換の影響は比較的小さくなる。

このために、降雨量の変化に対して雨水に含まれるイオン濃度や雨水のpH変化を調べると、図2(次ページ)のようなものになる。これは雲の周囲で生じている雲粒と大気中のガスやエアロゾル粒子との間の物質の移動を反映しているのだが、雨水の中に取り込まれた物質が雨滴の中で互いに反応しつつ雨粒と一緒にになってこれらのものが地上へ運ばれる。もちろん、この落下速度は、気体の状態で運ばれる場合と大きな違いを見せる。

それでは、雲・降水の活動が活発でないところで(あるいは時期に)大気中に廃棄されたさまざまなガスや粒子状物質はどうなっているのだろうか。煙突を使ってガスや粒子状物質を廃棄する場合、必ずしも曇りに日を選んで廃棄するとか雨の日を選んで廃棄するなどのような操作をしているわけではない。雲・降水の活動がない時期の排ガスやエアロゾル粒子は、空気の動きに左右されつつその間に大気中の酸素( $O_2$ )と反応し生物地球科学的な循環の中に取り込まれてゆく。

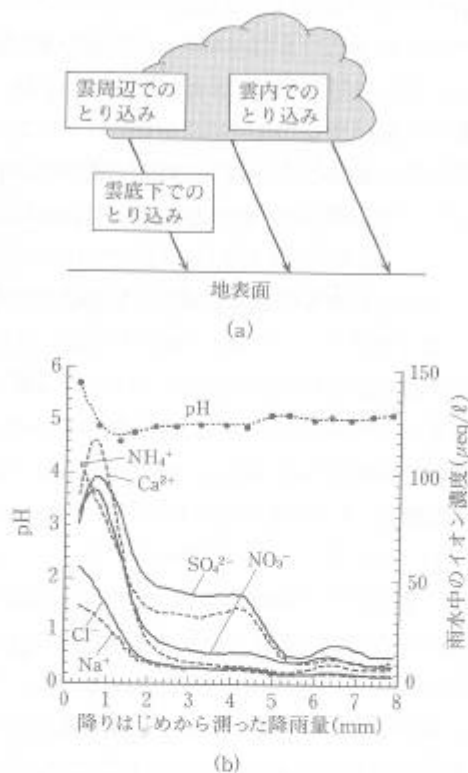


図2 雲とエアロゾル。(a) 雲の周辺は空気の交換がきわめて活発なところで、雲にガスやエアロゾル粒子が取り込まれることも起きるが、逆に雲粒が周辺の乾燥した空気に触れて水分が蒸発して(取り込まれたときの性状と異なる)エアロゾル粒子が発生する場合もある。もちろんそのエアロゾルが再び雲粒に取り込まれることもある。雲の内部には、雲を形成維持する空気の流れに強く影響された環境があり、周辺とはやや異なった環境でガスやエアロゾルの雲粒子への取込みが行なわれている。また、雲粒から雨粒に成長した粒子は地上へ落下しはじめる。この際には雨粒の周辺の空気はたえず入れ替わり、それに応じてガスやエアロゾルの取込みが行なわれる。(b) 名古屋市の郊外で観測された降水水中のイオン濃度の変化。雨の降り始めは、雲が発達段階にあることが多く、雲の周辺での空気交換の影響が比較的大きく出る。このために雲と周辺大気との交換によって取り込まれたガスやエアロゾルの成分が降水水中に多く含まれる。次第に雲が発達してくると、雲内での取込みや雲底下の取込みがおもなものになってくる。そのために、降水初期にはしばしば雨に含まれている各種のイオン濃度が高い状態が観測される。

廃棄されたガスや粒子状物質は、この化学的に極めて活発な $\text{O}_2$ と反応する事によって大気中で処理されてゆく。このようなことが大気中で無数に起きているのだがこの詳しいメカニズムはほとんど研究されていない。おそらく、そのような必要性(あるいは、そのような分野の科学的な面白さ)を我々が感じなかったためであろう。近年、人体への直接影響が顕著ないくつかの物質、例えばダイオキシン類など、の影響が取りざたされ、生活廃棄物あるいは産業廃棄物の焼却処理に関して強い関心がもたれている。しかし、廃棄物の燃焼処理は、場所を問わず時を問わずこれまで長い間ほとんど習慣といってよいほどに行われ、無意識に行われてきたとしか言いようのないほどである。自動車の排気口から絶え間なく排出されるガスを見てそろそろ人間も本気にこの排気ガスの処理という未開の分野に着手してゆかねばならないだろう。



## 第4章 窒素酸化物の影響

### 第1節 窒素酸化物の生態系への影響

#### 第1項 植物群落および生態系に及ぼす窒素酸化物の影響

生態系とは、生物群集とそれを取り囲む無機的環境が形作る一つの世界に対して与えられた名前である。ある地域が一定の風土条件の下に数百年にわたって経過すると、そこで生態系は自己永続性を持った、いわゆる極相と呼ばれる状態になる。

気候風土、物理化学的環境、生物相に変化が生じれば、それが何であれ、生態系の質に影響を与える。ある環境変化があった場合、生態系が抵抗を示し、比較的安定であることもあるが、生態系によっては同じ変化に対して強く影響されるものもある。生態系が示す安定性の差異を検討し、大気汚染物質との関連から、低濃度、中濃度、高濃度曝露で影響を受ける3段階に分けられる。

#### 第2項 動物共同体に及ぼす窒素酸化物の影響

動物に対する窒素酸化物の影響を、他の大気汚染物質の影響から分離して独自に評価する事は難しい。しかし、利用することの出来る範囲の乏しい情報によれば、窒素酸化物に大気汚染レベルは、現状では動物共同体に問題となる影響を与えてはいないとされている。自然界の動物共同体に及ぼす窒素酸化物の影響評価が難しい理由の一つは、実験室での研究結果から直ちに野生動物社会への影響を論じられない点にある。窒素酸化物に対する感受性は動物種によって非常に異なっていて、ある種の動物への影響が判明したとしてもその結果を他の動物に適用できる根拠が少ないことも、また理由の一つである。

例を挙げれば、スズメについての観測結果で、汚染度の高い市街中心部から得た個体の肺組織には顆粒を有するミクロファージが多数認められたが、大気の澄んだ郊外のスズメには、これが認められなかったことが報告された事がある。しかしスズメの寿命は短く、慢性的な影響はあるにしても観察する事が出来なかったという。スズメより長命な飼育ハトあるいはかわらハトを用いて同様な調査をすることも出来るであろう。しかし、これらのハトはそれ自体が都市汚染問題を引き起こす場合があり、流行病対策計画によっては大事なときに調査対象のハトが駆除されてしまう恐れがある。

#### 第3項 植物群落に及ぼす窒素酸化物の影響

現在、自生の植物種に及ぼす窒素酸化物の特異的影響についてはほとんど解明されていない。しかし、農作物に対しては窒素酸化物にも他の汚染物質と同じく、種による感受性の差異、曝露時と齢による影響の差、さらに、予測しにくい他の環境因子との相乗作用があることが知られている。

窒素酸化物が生態系や特定の植物種に障害を与えたという例は極めてまれであるが、実際に目で見て分かる障害は、植物群落に与えている影響のほんの一部に過ぎないだろう。

その目で見て分かる障害を実験した報告がある。

沢田正氏（元東京都公害研究所大気部主任研究員）らの行った、アサガオの観察による光化学スモッグ（二酸化窒素などを含む排ガスが太陽の紫外線を受けて光化学反応を起こし二次的に生ずるもの、「オキシダント（ $O_x$ ）」と総称される）影響調査である。

この観察によると、アサガオは、

（１）被害の軽いとき、 $O_x$ にさらされると２～３日で葉の表面、葉脈の間に小さな斑点の集まりが現れる。（２）被害の重いとき、葉の表側の葉脈の間が水浸状となり葉の色は灰白色に変化する。約１週間で茶褐色となり、２～３週間で欠落する。（３）被害の著しく重い場合、被曝した直後、葉は全面的に水浸状となり、主脈を軸にして表面に向かって巻葉現象を起こし、その色を茶褐色に変化させた後、落葉が認められる。

このように、 $NO_x$ は植物に対しても有害であるといえる。しかし、その影響は前述の通り、種による違いや、些細な変化という事もあり、人間がそれに気が付くのは中々難しい。実験の中でも、アサガオによって $O_x$ からの影響に差が生じた。このアサガオが世代を積み重ねるうちに弱いものは倒他させ、強い種だけが残っていく事だろう。繰り返すが、この差こそ植物群落に及ぼす窒素酸化物の影響が解明されにくい一因なのである。

## 第２節 窒素酸化物の人体および動物への影響

窒素酸化物の人体の影響に関しては、外気の汚染よりは、室内の燃焼器具からの影響を取り上げる事が多い。我々が室内で使う燃焼器具といえば、石油ストーブ、ガスコンロ、ガスストーブなどが挙げられる。この中で石油ストーブとガスコンロからは窒素酸化物が多量に発生する。しかし、ガスストーブに限ってはあまり発生しない事が知られている。最近の住宅は窓もアルミサッシとなり、気密性が高くなっている。その中で石油ストーブをつけておくと、室内の窒素酸化物の濃度が高くなってしまう。

毒性の点からすると、窒素酸化物のうちでは、二酸化窒素（ $NO_2$ ）が最も重要である。二酸化窒素は肺刺激性にあるガスである。したがって、高濃度の二酸化窒素ガスを吸い込むと、肺胞表面に作用して強い炎症を起こす。一方、長期間にわたって微量にガスを吸い込むと、肺胞の拡張が起こり、

肺気腫となる事もある。表4には二酸化窒素の人体への影響が示してある。二酸化窒素の濃度が１

表4 ひとに対する二酸化窒素の毒性(児島昭次ら，廣川書店，1989)

曝露濃度(ppm)	観察された反応
500 (2～60分)	急性肺水腫，2～10日後死亡
150～200 (2～60分)	閉鎖性繊維性気管支炎，3～5週後死亡
50～100 (2～60分)	巣性肺炎を伴う気管支炎，3～5週後治癒
80 (3～4分)	胸部絞扼感
50 (1分)	鼻の刺激感と胸部不快感
25 (5分)	胸部不快感，慣れの成立したひとでは，1日8時間，20 ppm，18か月で何ら影響しない
13 (短時間)	眼と鼻の刺激

0.0 ppm以上あると、死亡につながるが、濃度が薄いと眠れないなどの刺激がある。

二酸化窒素の動物への毒性についてみると、ラットに17 ppmの二酸化窒素を18時間曝露させたときの灰への影響が、図3に示してある。曝露を受けると、肺の重さが重くなるとともに、肺おなかの水の量も多くなっていく。しかし5日も経つと、ほとんど

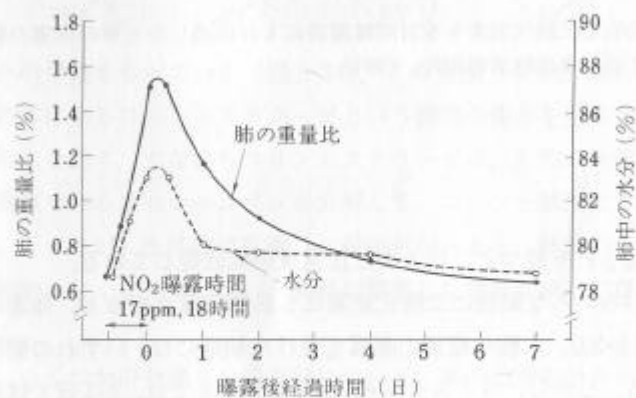


図3 ラットに17 ppmの二酸化窒素を18時間曝露させたときの肺重量と、肺中の水分の変化(近藤次郎, 東洋経済新報社, 1991)  
体重に対する割合で示してある

正常状態に回復している。また、いろいろな動物に二酸化窒素に5日間曝露させると、体重に変化が起こる(図4)二酸化窒素の曝露を受けた初期には、いずれの動物も体重が減少する。しかし、ウイスター・ラットやマウスでは、2~3日で体重が回復している。これは動物が直ぐに二酸化窒素になれて、その影響が軽減した事を示している。0.04 ppm程度の二酸化窒素を長期間ラットに曝露させても、表面的にはラットにはまったく影響が現れない。しかし、身体の中にある脂質が酸化されて、

過酸化脂質が増えるという。特に動物の細胞膜の成分の一つである脂質が酸化されると、細胞膜の物質の透過性が変化し、疾病の原因となるとも言われている。これが動物の健康に

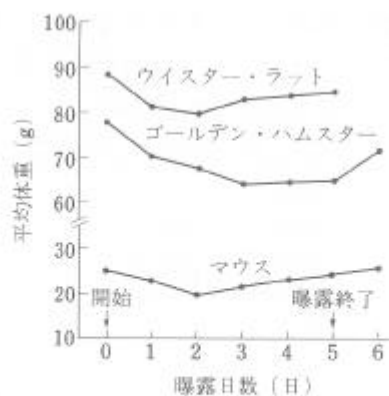


図4 動物に二酸化窒素を5日間曝露後に1日経過したときの体重の変化(近藤次郎, 東洋経済新報社, 1991)

どんな影響を与えるのかは、まだわかってはいない。

我々の身の安全のために、特に冬には石油ストーブなどの暖房を使うので、部屋の空気の喚起には、充分気をつけなければならないだろう。

### 第3節 環境基準

## 第1項 日本の窒素酸化物環境基準

わが国の窒素酸化物の環境基準値を参考として載せる。

わが国における環境基準は、公害対策基本法第9条に「人の健康を保護し、および生活環境を保全する上で維持される事が望ましい基準」として位置づけられている。そして大気汚染物質については、二酸化硫黄、一酸化炭素、浮遊粒子状物質、光化学オキシダント、お呼びに酸化窒素の環境基準が既に定められている。

二酸化窒素の環境基準は、まず1973年5月に「1時間値の1日平均値が0.02 ppm以下」と定められた。この数値は、中央公害対策審議会が環境庁長官からの環境基準の諮問に対し答申したもので、審議会は専門委員会を設置してその時点までに得られていた内外の実験的および疫学的データから総合的に判断した。

その後NO<sub>x</sub>の人体影響に対するデータがかなり集積されたので、1977年3月環境庁長官は中央公害対策審議会に対し、環境基準の基礎となるNO<sub>2</sub>の人の健康影響に関する判定条件等の検討を諮問した。これを受けて翌1978年3月同審議会専門委員会は「短期曝露については1時間曝露として0.1～0.2 ppm、長期曝露については種々の大気汚染物質を含む大気汚染の条件下において、NO<sub>2</sub>を大気汚染の指標として着目した場合、年平均値として0.02～0.03 ppm」を提案した。この指針値答申に基づいて環境庁は、1978年7月、NO<sub>2</sub>環境基準を「1時間値の1日平均が0.04 ppmから0.06 ppmまでのゾーン内またはそれ以下」と改定した。法律では、年間365日の内98%以上の日数がこの値以下でなければならない、規定されている（この値を1日平均値98%値という）。わが国での観測値に付いては、年平均値と1日平均値の98%値との間には1：2の関係があるので、指針値を1日平均値に換算すると0.04 ppmから0.06 ppmとなる。この改定の経過には種々の曲折があり、新環境基準の科学的根拠をめぐって激しい議論があったという。

## 第2項 WHOのガイドライン

1977年開催されたWHOの専門家会議は、NO<sub>2</sub>の長期曝露の限界濃度については、勧告できるほどには医学・生物学的知見は確立していないという理由で勧告を留保したが、短期曝露については次のガイドラインを勧告した。これによると、健康者に対してNO<sub>2</sub>を単独で曝露する場合、曝露限界濃度は最大1時間曝露0.1～0.17 ppm（月に1回を超えて出現してはならない）とされている。1時間値0.1 ppmという条件は、わが国の大気汚染の現状から見ると、平均的には1日平均値の98%値として0.04 ppmないしそれよりやや低い濃度に相当する。

## 第5章 窒素酸化物の実測

### 測定の目的

自ら行う事の出来る簡易的な測定方法を用いて身近な場所の大気汚染（窒素酸化物）の現状を把握する。

### 測定器具

#### ・捕集管

（口径19mm 高さ45mm

上部にプラスチック製キャップ 下部にゴムキャップ 底面に対不純物用のろ紙装着）

#### ・ろ紙押さえ

#### ・試薬1（スルファニル酸＋酒石酸＋蒸留水）

#### ・試薬2（N-1ナフチルエチレンジアミン二塩酸塩＋蒸留水）

#### ・ろ紙

（No.50クロマト用ろ紙にあらかじめ、次の捕集液をしみこませておく

トリエタノールアミン＋ギ酸ナトリウム＋蒸留水）

#### ・エコアナライザー

#### ・テープ

#### ・スポイト

#### ・ピンセット

#### ・記録用紙

### 測定の手順

#### 捕集管の設置

- ・捕集管にピンセットを使ってろ紙とろ紙押さえを装着する。
- ・捕集管に通し番号を書く。
- ・捕集管のゴムキャップを取り測定場所に2個1組で、通し番号順にテープで設置する。
- ・設置時は地面からの高さを約1mとする。
- ・捕集管を設置した場所と時間を記録用紙に書き込む。
- ・捕集管は設置から24時間で回収する。
- ・回収の際は、確実にゴムキャップを取り付ける。

### 測定

- ・回収してきた捕集管のプラスチックキャップを取り外し、中のろ紙押さえを取り除く。  
（この時ろ紙押さえとともに、ろ紙が捕集管から出ないように気をつける）

- ・捕集管にスポイトを使って試薬 1 を上部に刻まれた線まで入れる。
- ・同じように試薬 2 を 1 滴入れ、再びプラスチックのキャップをしかと閉める。
- ・キャップを閉めたら捕集管をよく振る。
- ・試薬を入れ 10 分経過したら、エコアナライザーを使って測定を行う。
- ・記録を用紙に書き込む。
- ・測定が終了したら、捕集管内の試薬とろ紙を捨て、よく水洗いをする。ろ紙押さえも同じように水洗いをして乾かし、次回の測定に備える。

## 測定 1

測定日 2002 年 11 月 13 - 14 日 (水 - 木)

測定日天気 晴れ

捕集管設置時の気温 18

捕集管設置時の風 弱風

測定場所・捕集管設置時間

23 ページ 「地図 1 測定 1 捕集管設置場所」

24 ページ 「表 測定 1 捕集管設置場所と設置時間」 参照

測定結果

25 ページ 「表 a 測定 1 窒素酸化物検出値」

26 ページ 「地図 1 a 測定 1 窒素酸化物濃度分布地図」 参照

## 測定 2

測定日 2002 年 11 月 23 - 24 日 (土 - 日)

測定日天気 曇り | 雨 (24 日午前 2 ~ 3 時降水有)

捕集管設置時の気温 10

捕集管設置時の風 弱風

測定場所・捕集管設置時間

27 ページ 「地図 2 測定 2 捕集管設置場所」

28 ページ 「表 測定 2 捕集管設置場所と設置時間」 参照

測定結果

29 ページ 「表 a 測定 2 窒素酸化物検出値」

30 ページ 「地図 2 a 測定 2 窒素酸化物濃度分布地図」 参照

### 測定 3

測定日 2002年19 - 20日(木 - 金)

測定日天気 晴れ

捕集管設置時の気温 7

捕集管設置時の風 無風

測定場所・捕集管設置時間

3 1 ページ 「地図 3 測定 3 捕集管設置場所」

3 2 ページ 「表 測定 3 捕集管設置場所と設置時間」 参照

測定結果

3 3 ページ 「表 a 測定 3 窒素酸化物検出値」

3 4 ページ 「地図 3 a 測定 3 窒素酸化物濃度分布地図」 参照





地図 1 測定1 捕集管設置場所



地図内アルファベット	捕集管番号	測定地	設置時間
A	1	自宅前道路	17:43
	2		
B	3	マルエツ立体交差	17:45
	4		
C	5	桶川駅	17:50
	6		
D	7	桶川市民ホール	17:55
	8		
E	9	大宮ゴルフコース	18:05
	10		
F	11	鴨川	18:10
	12		
G	13	大石北小学校	18:15
	14		
H	15	鴨川中央公園	18:20
	16		
I	17	大石中学校	18:25
	18		
J	19	BS薬局前	18:26
	20		
K	21	BSトヨタ前	18:30
	22		
L	23	BS高崎線	18:35
	24		
M	25	北上尾駅	18:38
	26		
N	27	TSUTAYA	18:46
	28		
O	29	立体交差	18:50
	30		
P	31	上尾駅	19:00
	32		
Q	33	運動公園陸橋 1 m	19:25
	34		
"	35	運動公園陸橋 2 m	"
	36		
"	37	運動公園陸橋 3 m	"
	38		
"	39	運動公園陸橋 4 m	"
	40		
"	41	運動公園陸橋 5 m	"
	42		
R	43	上尾市役所	19:38
	44		
S	45	BS国道17号線	19:50
	46		
T	47	自宅	20:00
	48		

表 測定1 捕集管設置場所と設置時間



地図 2 測定 2 捕集管設置場所

地図内アルファベット	捕集管番号	測定地	設置時間
A	1	ボーリング場	18:30
	2		
B	3	運動公園陸橋 1 m	18:52
	4		
"	5	運動公園陸橋 1 . 5 m	"
	6		
"	7	運動公園陸橋 2 m	"
	8		
"	9	運動公園陸橋 2 . 5 m	"
	10		
"	11	運動公園陸橋 3 m	"
	12		
"	13	運動公園陸橋 3 . 5 m	"
	14		
"	15	運動公園陸橋 4 m	"
	16		
"	17	運動公園陸橋 4 . 5 m	"
	18		
"	19	運動公園陸橋 5 m	"
	20		
"	21	運動公園陸橋 5 . 5 m	"
	22		
"	23	運動公園陸橋 6 m	"
	24		
C	25	上尾市役所	19:00
	26		
D	27	上尾駅	19:24
	28		
E	29	JONATHAN'S	19:05
	30		
F	31	立体交差	19:12
	32		
G	33	立体交差中山道	19:20
	34		
H	35	国道 17 号線緑ヶ丘	19:21
	36		
I	37	BS国道 17 号線	19:24
	38		
J	39	BS中山道	19:31
	40		
K	41	BS高崎線	19:34
	42		
L	43	BSトヨタ前	19:42
	44		
M	45	BS薬局前	19:46
	46		
N	47	マルエツ立体交差	19:55
	48		

表 測定 2 捕集管設置場所と設置時間





地図3 測定3捕集管設置場所

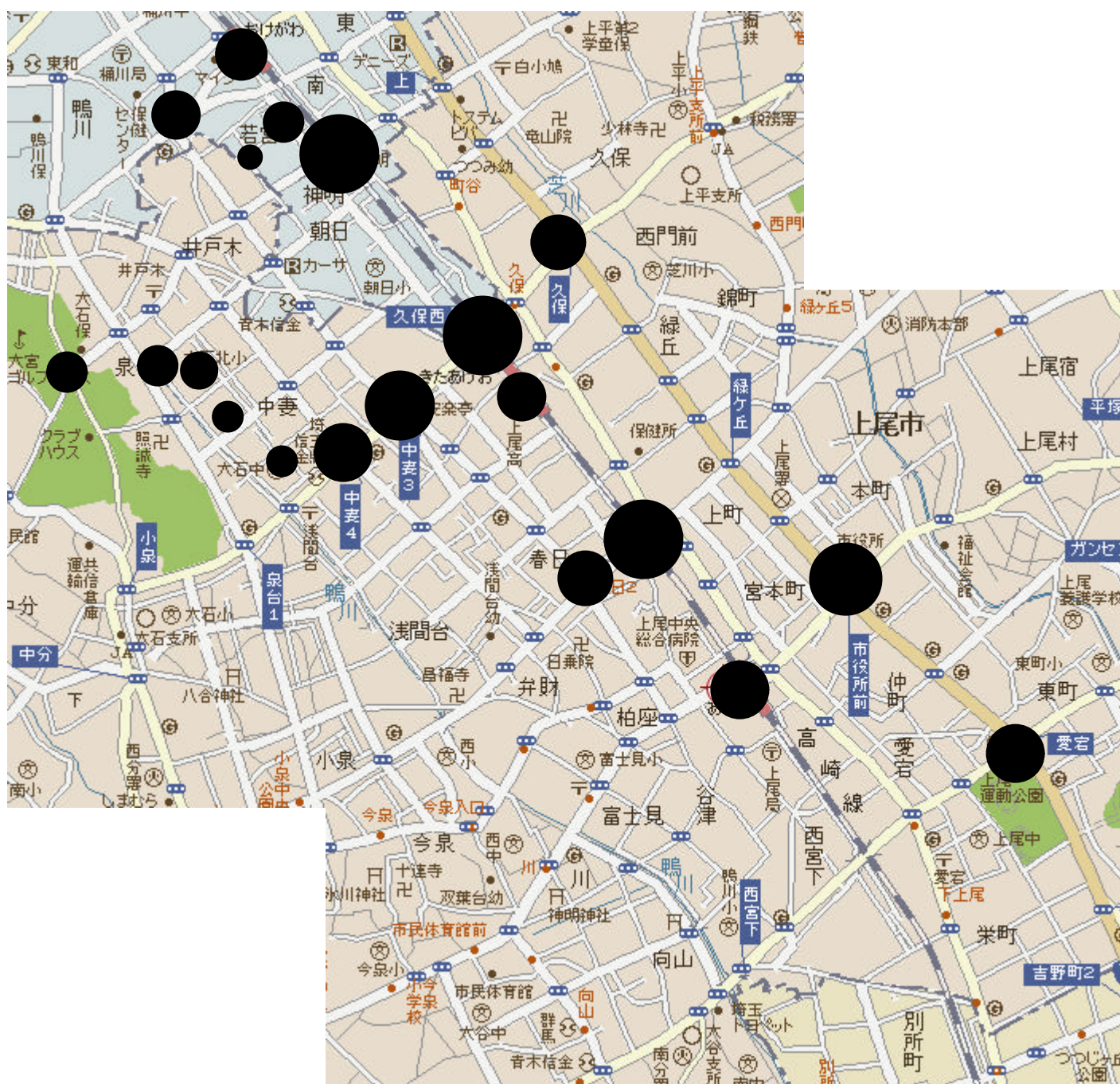
地図内アルファベット	捕集管番号	測定地	設置時間
A	1	ボーリング場	12:55
	2		
B	3	運動公園陸橋 1 m	13:13
	4		
"	5	運動公園陸橋 1 . 5 m	"
	6		
"	7	運動公園陸橋 2 m	"
	8		
"	9	運動公園陸橋 2 . 5 m	"
	10		
"	11	運動公園陸橋 3 m	"
	12		
"	13	運動公園陸橋 3 . 5 m	"
	14		
"	15	運動公園陸橋 4 m	"
	16		
"	17	運動公園陸橋 4 . 5 m	"
	18		
"	19	運動公園陸橋 5 m	"
	20		
"	21	運動公園陸橋 5 . 5 m	"
	22		
"	23	運動公園陸橋 6 m	"
	24		
C	25	上尾市役所	13:21
	26		
D	27	上尾駅	13:26
	28		
E	29	JONATHAN'S	13:31
	30		
F	31	立体交差	13:39
	32		
G	33	立体交差中山道	13:41
	34		
H	35	国道 17 号線緑ヶ丘	13:46
	36		
I	37	BS国道 17 号線	14:00
	38		
J	39	BS中山道	14:05
	40		
K	41	BS高崎線	14:09
	42		
L	43	BSトヨタ前	14:13
	44		
M	45	BS薬局前	14:15
	46		
N	47	マルエツ立体交差	14:24
	48		

表 測定 3 捕集管設置場所と設置時間

捕集管番号	測定地	窒素酸化物測定結果 (ppm)
1	自宅前道路	0.026
2		0.026
3	マルエツ立体交差	0.034
4		0.052
5	桶川駅	0.034
6		0.032
7	桶川市民ホール	0.032
8		0.032
9	大宮ゴルフコース	0.026
10		0.026
11	鴨川	0.026
12		0.024
13	大石北小学校	0.016
14		0.024
15	鴨川中央公園	0.016
16		0.020
17	大石中学校	0.020
18		0.020
19	BS薬局前	0.038
20		0.032
21	BSトヨタ前	0.038
22		0.046
23	BS高崎線	0.030
24		0.030
25	北上尾駅	0.026
26		0.032
27	TSUTAYA	0.036
28		0.026
29	立体交差	0.040
30		0.052
31	上尾駅	0.032
32		0.038
33	運動公園陸橋 1 m	0.038
34		0.034
35	運動公園陸橋 2 m	0.040
36		0.042
37	運動公園陸橋 3 m	0.032
38		0.032
39	運動公園陸橋 4 m	0.024
40		0.020
41	運動公園陸橋 5 m	0.026
42		0.026
43	上尾市役所	0.048
44		0.048
45	BS国道17号線	0.036
46		0.034
47	自宅	0.014
48		0.016

表 a 測定1窒素酸化物検出値



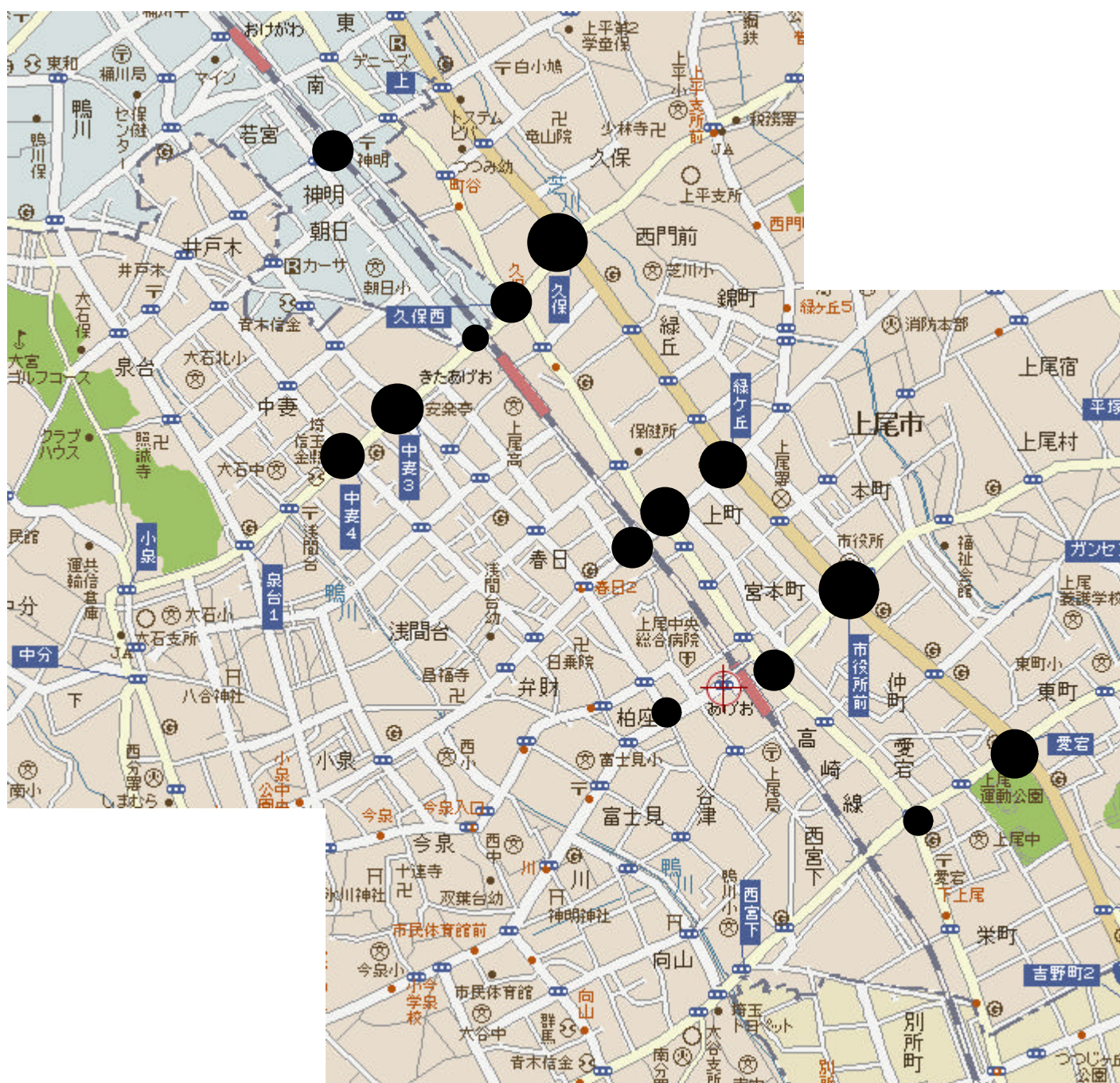


地図 1 a 測定1窒素酸化物濃度分布地図

捕集管番号	測定地	窒素酸化物測定結果 (ppm)
1	ボーリング場	0.018
2		0.018
3	運動公園陸橋 1 m	0.028
4		0.032
5	運動公園陸橋 1 . 5 m	0.024
6		0.026
7	運動公園陸橋 2 m	0.024
8		0.028
9	運動公園陸橋 2 . 5 m	0.028
10		0.028
11	運動公園陸橋 3 m	0.028
12		0.028
13	運動公園陸橋 3 . 5 m	0.018
14		0.038
15	運動公園陸橋 4 m	0.026
16		0.030
17	運動公園陸橋 4 . 5 m	0.032
18		0.020
19	運動公園陸橋 5 m	0.020
20		0.020
21	運動公園陸橋 5 . 5 m	0.040
22		0.040
23	運動公園陸橋 6 m	0.020
24		0.036
25	上尾市役所	0.038
26		0.036
27	上尾駅	0.020
28		0.026
29	JONATHAN'S	0.020
30		0.020
31	立体交差	0.024
32		0.026
33	立体交差中山道	0.030
34		0.014
35	国道 17 号線緑ヶ丘	0.032
36		0.026
37	BS国道 17 号線	0.038
38		0.028
39	BS中山道	0.026
40		0.014
41	BS高崎線	0.016
42		0.016
43	BSトヨタ前	0.034
44		0.018
45	BS薬局前	0.030
46		0.018
47	マルエツ立体交差	0.026
48		0.026

表 a 測定 2 窒素酸化物検出値



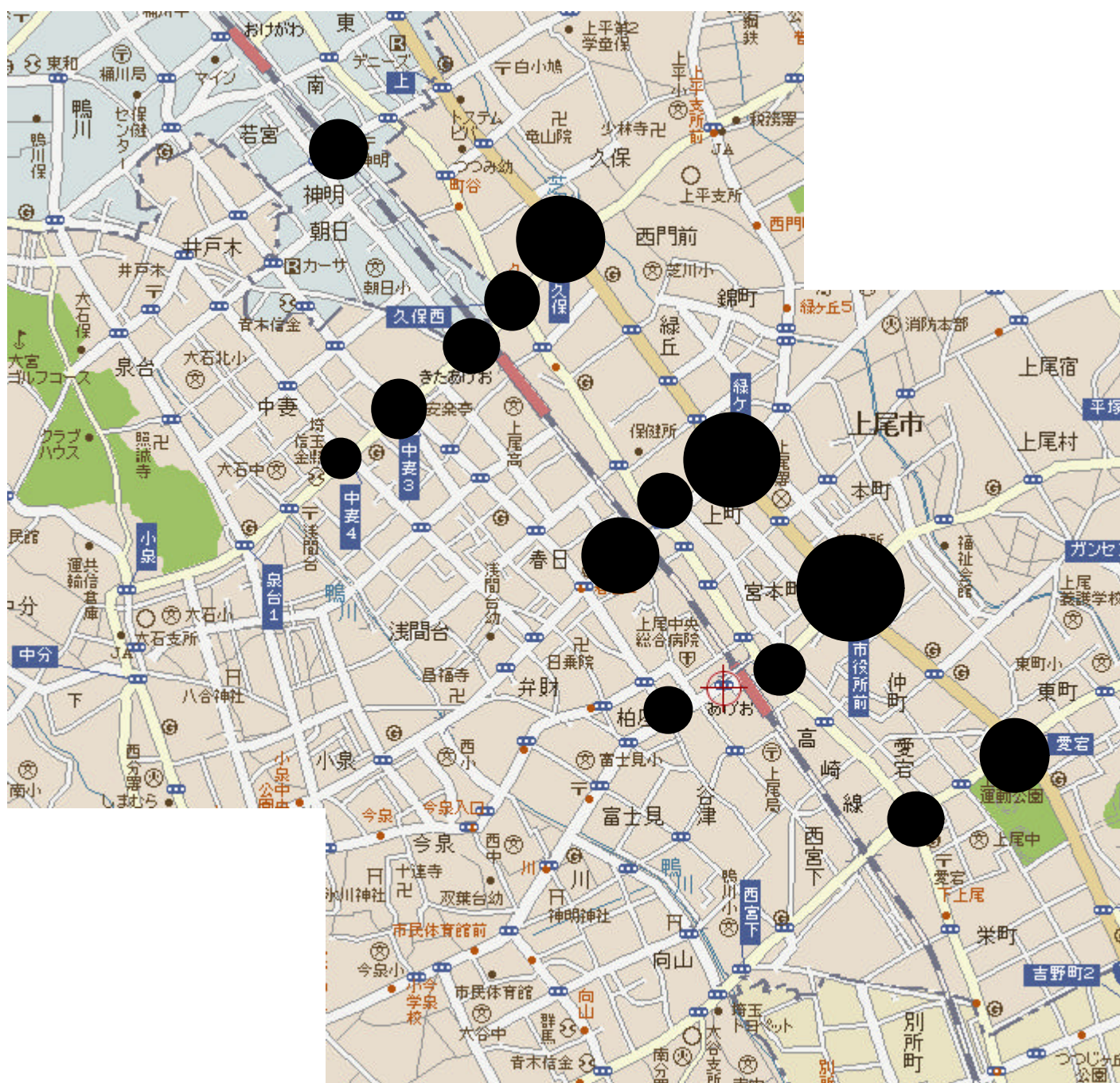


地図 2 a 測定2窒素酸化物濃度分布地図

捕集管番号	測定地	窒素酸化物測定結果 ( p p m )
1	ボーリング場	0.034
2		0.036
3	運動公園陸橋 1 m	0.048
4		0.042
5	運動公園陸橋 1 . 5 m	0.040
6		0.042
7	運動公園陸橋 2 m	0.040
8		0.042
9	運動公園陸橋 2 . 5 m	0.046
1 0		0.042
1 1	運動公園陸橋 3 m	0.042
1 2		0.038
1 3	運動公園陸橋 3 . 5 m	0.042
1 4		0.048
1 5	運動公園陸橋 4 m	0.046
1 6		0.046
1 7	運動公園陸橋 4 . 5 m	0.046
1 8		0.046
1 9	運動公園陸橋 5 m	0.046
2 0		0.052
2 1	上尾市役所	0.071
2 2		0.071
2 3	上尾駅	0.034
2 4		0.032
2 5	JONATHAN'S	0.030
2 6		0.032
2 7	立体交差	0.048
2 8		0.050
2 9	立体交差中山道	0.036
3 0		0.032
3 1	国道 1 7 号線緑ヶ丘	0.060
3 2		0.063
3 3	BS国道 1 7 号線	0.056
3 4		0.058
3 5	BS中山道	0.036
3 6		0.038
3 7	BS高崎線	0.036
3 8		0.030
3 9	BSトヨタ前	0.038
4 0		0.036
4 1	BS薬局前	0.028
4 2		0.028
4 3	マルエツ立体交差	0.032
4 4		0.038

表 a 測定 3 窒素酸化物検出値





地図 3 a 測定3窒素酸化物濃度分布地図

## 測定結果の分析

### ・測定 1

上尾市内および桶川市内をほとんど任意に測定した。測定のポイントとして、「交差点」を中心に捕集管を設置した。まず、以下の断りは測定 1 に限らず本論の載せる全ての測定結果に適用する事とする。測定値の信頼性、その指標として 1 箇所 に 2 つの捕集管を設置し測定結果の一致から、数値の信頼度を高める事にした。ここで誤差が認められた場合は、日本の環境基準値で使用されている桁数を考えて、 $\pm 0.005 \text{ ppm}$  の許容範囲を設ける事にする。また、 $\pm 0.005 \text{ ppm}$  の数値内でも 2 つの記録の平均を取る事はせずに、より大きな数値を本論は優先したい。

測定 1 の場合以下に記す 3 箇所以外は信頼できる数値を得る事に成功した。

全体から見る事の出来る事は住宅地より、やはり移動発生源である自動車の交通量の多い幹線道路や生活の基盤となる道路からは他を越える値が観測された事である。

幹線道路沿いとして以下の 5 地点（地図 1 参照）、

J：「BS薬局前」 L：「BS高峰線」 Q：「運動公園陸橋1m」 R：「上尾市役所」 S：「BS国道17号線」が挙げられる。

また、住宅地として以下の 7 地点（同地図参照）、

A：「自宅前道路」 E：「大宮ゴルフコース」 F：「鴨川」 G：「大石北小学校」 H：「鴨川中央公園」 I：「大石中学校」 T：「自宅」が挙げられる。

幹線道路沿いの地点の平均値は  $0.037 \text{ ppm}$ 、対して住宅地の地点の平均値は  $0.022 \text{ ppm}$  であった。これを日本の環境基準値と比較すると、どちらの地域も短期の曝露の許容範囲内であり、さらには住むのにも問題は無いということが判明した。この基準値よりも甘い設定のWHOの環境基準値も以上の平均値は満たしている事は言うまでも無い。

ただしここで注意したいのは、この数値はあくまで2002年11月13 - 14日にかけての窒素酸化物量 ( $\text{NO}_x$ ) であって、住居を構えるにあたっては年平均値を取らなくては完全に安全とは言う事は出来ないのである。

1 の場合ほぼ全ての地点がクリアしていたのだが、以下の 3 地点はその許容範囲を超えてしまったものである。（同地図参照）

B：「マルエツ立体交差」 K：「BSTヨタ前」 O：「立体交差」

ここで現れた誤差の一因として想像出来るのが、風の影響である。捕集管は空気採取部に空気のろ過装置を取り付けて、管内に乱流の発生する事を防いでいるのだがそれは必ずしも万全とはいえない。この日は若干の風が吹いていた。たとえ弱い風でも立体交差などの地点では空気の通り道となって、多少でも風が強く吹く事が考えられる。さらに自動車が通り過ぎればそれでない地点と比べると、かなりの影響だろう。そのために風上に設置された方の捕集管が乱流のため、実際より多くの空気を捉えることを余儀なくされたのである。

さらに原因を挙げるとすれば捕集管の精度の問題である。この捕集管は使い捨てではなく繰り返し水洗いして測定に用いられる。そのため過装置の老朽化の激しいもの、そうでないものの差がこのような結果の誤差に結びついたとも考えられるのである。

#### ・測定 2

測定 2 では測定 1 の数値を参考に主要幹線道路である国道 17 号線と旧中山道、交通量の特に多い BS 通り沿いに捕集管を設置することにした。

全体の数値を見る限り明らかに誤差のある地点は（地図 2 参照）、  
G：「立体交差中山道」 I：「BS 国道 17 号線」 L：「トヨタ前」 M：「BS 薬局前」であり、その誤差はひどいもので 2 倍以上のものまである。測定 2 は他の 2 つの測定と違って、捕集管設置時間である 24 時間に約 1 時間にわたって降雨が確認された。この影響が誤差となって大きく出たに違いない。

この降雨の影響は大きなものである。前述にもあったように  $\text{NO}_x$  は水 ( $\text{H}_2\text{O}$ ) にイオン化して溶けてしまうのだ。だから降水は  $\text{NO}_x$  測定の正確性を欠いてしまう。この測定では、降雨の影響で湿度が上がりに伴って溶け込む  $\text{NO}_x$  量が増加したのだ。これを踏まえてもう一度数値を見直すと全体的に低い記録が並んでいる事に気がつく。これこそ  $\text{NO}_x$  が大気サイクルから飛び出し水のサイクルに乗った証拠ともいえよう。日本の夏は多湿高温だ。じめじめした空気が蔓延する夏は大気中の  $\text{NO}_x$  濃度が減少する季節という仮説を立てることが出来る。

地図 2 a を見て分かれるとおり数値が平均して低いのと、他に同じ測定地で捕集管を設置した測定 3 の結果の地図 3 a と比べて大きな差が見受けられないことが分かる。降雨のあった測定 2 とそれが無かった測定 3 を比べる事自体間違っているかもしれないが、 $\text{NO}_x$  は一定量の  $\text{H}_2\text{O}$  に決まった量溶け込むとして比較をする。この原因は測定した曜日にある。測定 3 は木曜日から金曜日にかけて。対して測定 2 は土曜日から翌日曜日にかけての測定だったのである。これこそ大きな違いで、それは  $\text{NO}_x$  の主たる発生源である自動車の交通量に関係する。移動発生源である自動車、その中でもガソリン車よりディーゼル車の方が  $\text{NO}_x$  をより多く排出する。ガソリンエンジンがガソリンを燃料として動力を得るのに対して、ディーゼルエンジンは軽油を使う。燃料潜在の窒素 ( $\text{N}_2$ ) が多いのが軽油のほうである。この燃料に含まれる  $\text{N}_2$  が酸化し排出されるため結局は多量の  $\text{NO}_x$  が排出される。このガソリン車かディーゼル車の違いは少々大雑把だが乗用車とトラックのそれといてよい。測定 3 は平日。運送用のトラックが乗用車よりも多く走っていたのを思い出す。それに比べ測定 2 は休日。ディーゼル車の割合の減少とさらには絶対的な交通量の減少とが起因となって、測定値の差を縮めたに違いない。

### ・測定3

測定3では測定2との降雨の有無で変わる $\text{NO}_x$ 数値を比較するために測定2と同じ場所を選んで捕集管を設置した。それには、降雨が無かった場合の本来の $\text{NO}_x$ 量を測定するといういとも含まれている。

測定3を実施した2002年19 - 20日は天気晴れ、無風と、天気恵まれたため $\text{NO}_x$ の量も実際存在するである量を忠実に集める事が出来た。その証拠にまた、数値の信頼性今までになく良好であった。全ての地点の捕集管の組が $\pm 0.005 \text{ ppm}$ 以内に収めた。付け加えたすならば、いまだ出た事のない大きさの数値が認められたこともある。

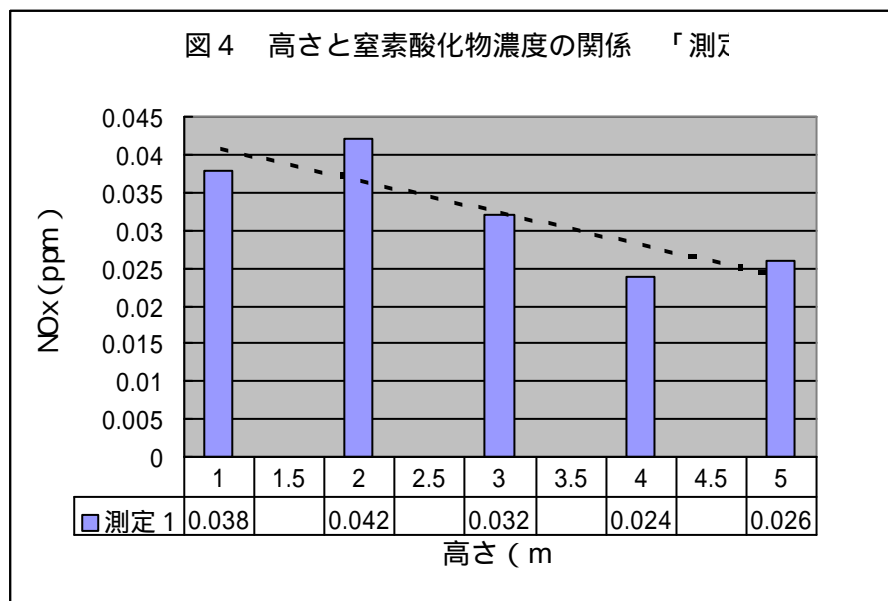
表 aを見ると、C:「上尾市役所前」の $0.071 \text{ ppm}$  H:「国道17号線緑ヶ丘」の $0.063 \text{ ppm}$ 。この記録は日本の環境基準の長期曝露の許容範囲 $0.060 \text{ ppm}$ 以下を越してしまった。あわよくば、短期曝露の基準である $0.1 \text{ ppm}$ に届く勢いである。

また、この測定2と測定3では南東から北西に貫いて平行して走る国道17号線と旧中山道の比較をするためにそれらと垂直に走る道路との交差点に捕集管を設置した。地図3 aからははっきりと国道17号線にかかるメッシュの大きさと旧中山道のメッシュとの違いに気がつく。明らかに国道17号線の方が大きいのだ。やはり、前述の通り走る自動車の絶対量と車種の違いが国道により多くの $\text{NO}_x$ を撒き散らす。

旧中山道とBS通りとでは平均して同じくらいの数値が出た。国道17号線と比較すれば劣るものの、それでも数値はずいぶん立派な値である。

### ・高さで窒素酸化物濃度の関係

広範囲に及ぶ測定と並行して、高さで $\text{NO}_x$ の濃度を調べるための実験をした。測定1・2・3毎回運動公園の前の国道17号線にかかる歩道橋に1m間隔もしくは0.5m間隔で捕集管を設置した。理論上 $\text{NO}_x$ は空気より重いので比較的低い位置に溜まる。その仮定を確認するための実験である。高さとの関係をつかきやすきするために、表 a・ a・ aからグラフを作成した。





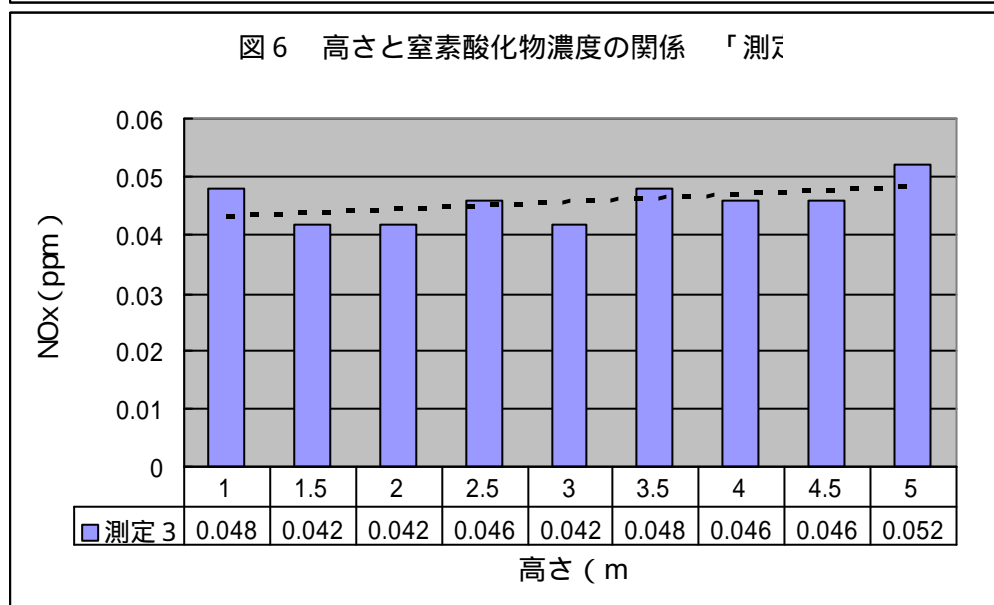
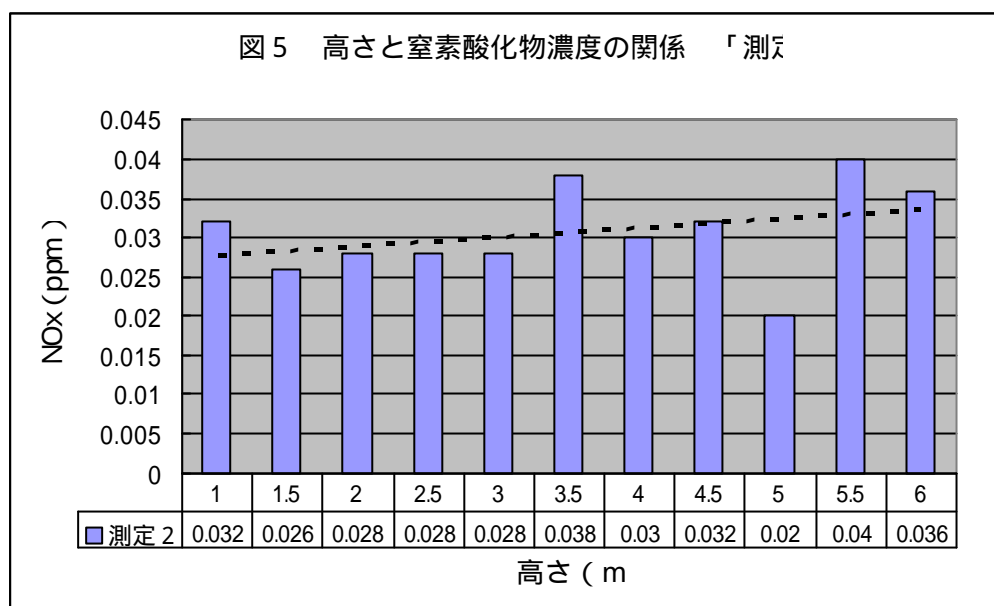


図4の近似曲線からは比例定数を負とした確実な減少傾向がうかがえる。しかし測定2・3の結果の図5・6からはそのような減少でなく増加のグラフが読み取れる。降雨の確認された測定2は数値の誤差が考えられるかもしれないが、測定3の数値は2つの捕集管の一致から信頼できる値である。繰り返すがNO<sub>x</sub>は空気より重い(窒素(N<sub>2</sub>)の分子量が28、酸素(O<sub>2</sub>)の分子量は32に対して、二酸化窒素(NO<sub>2</sub>)の分子量は48もある)。つまり廃棄されたNO<sub>x</sub>は空気の層のほとんど下部を構成するはずなのである。かといって測定2・3の数値が正しくないものという事には出来ない。

そこで考えられる原因として考えられるのは自動車の通過によって生じる風である。この「高さと窒素酸化物の濃度の関係」を測定した地点は交通量の激しい国道17号線であった。絶え間ない自動車の通過のために測定地付近では地上近くの空気を巻き上げる風が吹いていた。静かな大気の中では確かにNO<sub>x</sub>は沈む事が確実であるが、対流の中では必ずしもそうとはいえない

だろう。さらに風に加えてそもそもの実験の対象である $\text{NO}_x$ が多く排出された事が挙げられる。測定の結果の地図 1 a・2 a・3 aではさほど離れた地点でなくても数値の違いが見受けられる。これは $\text{NO}_x$ の分散範囲がかなり局地的であるという見解を導く。その分 $\text{NO}_x$ がより多量に排出されれば、 $\text{NO}_x$ 溜りを形成して風の影響を増大する事が出来てしまうのだ。残念な事に捕集管の空気を取り入れる空気孔は下向きで取り付けられる。 $\text{NO}_x$ 溜りを通過した自動車によって巻き上げられた $\text{NO}_x$ はかなり直接的に捕集管のろ紙に捕らえられたのだろう。



## 第6章 おわりに

窒素酸化物の本質的な調査、測定を経て考える事は多い。

第5章「窒素酸化物の実測」での断りに「 $\pm 0.005$  ppmの数値内でも2つの記録の平均を取る事はせずに、より大きな数値を本論は優先したい」というものがあった。これは科学的、環境科学的に間違った選択であったかもしれない。本来ならば数値が等しくなるまでその結果は信用できないものというのが筋である。しかし、今回の測定では簡易的な測定器具であったし期間も限られていたためこのような代用の数値を使用するともいえる策を取った。また、何よりの理由として本論は大気汚染の現状を把握し報告するという主題の元、論を進めるものであることがある。参考資料とさせていただいた書籍の中に、行政の求めたNO<sub>x</sub>の測定値があまりに低く、大学があまりにもひどいために指摘し、真の測定値を提出したという話があった。環境問題を考えるときに国家や私的な利潤をはさんでしまう、それは本当の意味で環境問題に取り組んではいけない。なぜなら、環境問題の発端こそ、その絶対的な利益追求であるから。この書籍の話の中の行政側の「環境を測る」ことに対する軟弱な考えに大変遺憾であった。だから本論では積極的に数値に対して厳しい態度を取りたかったのである。

測定のために国道17号線といった幹線道路の空気に1回の測定で2時間ほど触れた。その度に晴天なのに視界の悪い空気を見て、鼻腔に違和感を感じ、さらに帰宅し手を洗ったときの真っ黒な石鹸の泡には驚かされた。数値より先に大気汚染の現状を自分の五感から直接知る事となった。今回の3回におよぶ測定では日本の定めた環境基準を上回る値は観測されなかったが、それでも自らの体験からその環境基準設定のまだまだ緩い事を知った。国道17号線の淀んだ大気の中で人間が本当に一生暮らせるであろうか。疑問である。

我々人間は酸素を身体に取り入れ細胞に供給しなくては生きてゆく事が出来ない。たとえ汚れた空気だと知っていようと我々は呼吸し続けなければならない。かけがえのない大気、地球をすむことが出来なくするも、住みよくするも我々の手にかかっている。我々の大気環境、さらには地球環境改善の努力は永遠のものだと再確認をする。

## 参考文献

- 安成哲三・岩坂泰信ほか(1999):『大気環境の変化』(岩波講座 地球環境学3) 岩波書店  
pp. 2 - 26 52 - 83
- 中馬一郎・江上信雄・武部啓(1984):『環境と人体 窒素酸化物』 東京大学出版会  
pp. 1 - 8
- 鈴木静雄(1993):『大気的环境科学』 内田老鶴圃  
pp. 158 - 161
- 大気汚染測定運動東京連絡会(1987):『汚れた空気』 新草出版  
pp. 128 - 139
- 天谷和夫(1989):『みんなでためす大気の汚れ』 合同出版  
pp. 53 - 72

## 図表の引用

- 図1 地球誕生後の大気組成の変化(Tajika and Matsui, 1992)  
安成哲三・岩坂泰信ほか(1999):『大気環境の変化』(岩波講座 地球環境学3) 岩波書店  
pp. 9

## 図2 雲とエアロゾル

- 安成哲三・岩坂泰信ほか(1999):『大気環境の変化』(岩波講座 地球環境学3) 岩波書店  
pp. 59

## 図3 ラットに17ppmの二酸化窒素を18時間曝露させたときの肺重量と肺中の水分の変化 (近藤次郎 東洋経済新報社 1991)

- 鈴木静雄(1993):『大気的环境科学』 内田老鶴圃  
pp. 159

## 図4 動物に二酸化窒素を5日間曝露後に1日経過したときの体重の変化(近藤次郎 東洋経済新報社 1991)

- 鈴木静雄(1993):『大気的环境科学』 内田老鶴圃  
pp. 160

## 表1 窒素酸化物

- 中馬一郎・江上信雄・武部啓(1984):『環境と人体 窒素酸化物』 東京大学出版会

pp. 1

表2 各国における諸種の発生源からの窒素酸化物の排出量

中馬一郎・江上信雄・武部啓(1984):『環境と人体 窒素酸化物』 東京大学出版会

pp. 6

表3 各都市におけるNO<sub>2</sub>の年平均濃度

中馬一郎・江上信雄・武部啓(1984):『環境と人体 窒素酸化物』 東京大学出版会

pp. 7

表4 ひとに対する二酸化窒素の毒性(児島昭次ら 廣川書店 1989)

鈴木静雄(1993):『大気環境科学』 内田老鶴圃

pp. 159