

# 大気汚染物質と植物\*

—兵庫県における窒素(NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>)排出の推計—

中 川 吉 弘\*\*

キーワード ①アンモニア排出量 ②NO<sub>x</sub> 排出量 ③緑地 ④ガス吸収 ⑤CO<sub>2</sub>

## 要 旨

近年、人為的な活動に基づく農業、工業の種々排出源からの窒素(NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>)の排出が著しく増加し、自然の窒素サイクルが攪乱されている。これら窒素の負荷量を推計することは、将来にわたる環境の酸性化や窒素飽和の影響を評価する上で必要なことと考えられる。筆者は、兵庫県下における窒素の排出量を推計し、環境へのNとしての負荷量の見積りとその評価を行った。また、緑地によるNO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>の吸収量を見積もった。

### 1. はじめに

植物は長い年月をかけて物質循環系を形成し、維持してきた。しかし近年、人為的な活動に基づく農業、工業の種々排出源からの窒素(NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>)の排出が著しく増加し、自然の窒素サイクルが攪乱されている。このことが、植物の正常な物質循環に影響を及ぼしている可能性が示唆されている。

窒素の種々の形態は主にNO, NO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>であり、大気中に共存する汚染物質と光化学反応等を起こし、最終的には気体状、粒子状のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>に変化し、吸着、降じん、降雨等により大気から除去される。これら窒素(NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>)の負荷量を推計することは、将来にわたる環境の酸性化や窒素飽和(富栄養化)の影響を評価する上でもっとも基本的なデータの一つと考え、推計を行った。

筆者は高濃度窒素と低pHをその特性とする酸性霧による植物影響について、スギ苗を用いたばく露実験を実施し、一方で日本各地に生育する樹木について葉内および土壌の成分分析を行うことで種々検討している。本推計はその一環である。

NH<sub>3</sub>については、村野<sup>1)</sup>によって農業起源からの排出量の推計がなされ、神成<sup>2)</sup>らは都市部でNH<sub>3</sub>濃度が高いことから都市起源(自動車、下水処理施設等)からのNH<sub>3</sub>排出についても推計している。

本報告では、兵庫県下における農業および都市を起源とする窒素(NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>)の排出量の推計を行うことにより、環境へのNとしての負荷量の見積りとその評価を行った。また、緑地によるNO<sub>x</sub>の吸収量を推計した。なお、同時に算出可能なSO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>の吸収量についての見積りも行った。

### 2. 方 法

農業および都市を起源とするNH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>の排出量の推計ならびに緑地によるNO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>それぞれの吸収量の推計を以下に示す方法により行った。

#### 2.1 農業および都市起源NH<sub>3</sub>排出量の推計

市町ごとの面積、人口、家畜頭数等は兵庫県統計年鑑(1999)を使用し、表1の排出原単位<sup>3,4)</sup>

\*Air Pollutants and Plants—Estimation of Nitrogen (NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>) Emissions in Hyogo Prefecture—

\*\*Yoshihiro NAKAGAWA (兵庫県立公害研究所) The Hyogo Prefectural Institute of Environmental Science

表1 農業および都市起源 NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub> 発生原単位

項目	ガスの種類	数量	原単位
工場			
ガソリン車	NO <sub>x</sub>		
乗用車		193万9,869台	22.4mg/km
貨物車	NH <sub>3</sub>	37万8,318台	37.8mg/km
ディーゼル車		35万9,506台	12.8mg/km
都市起源			
ガソリン車			
乗用車		193万9,869台	0.26g/km
貨物車	NO <sub>x</sub>	37万8,318台	0.93g/km
ディーゼル車		35万9,506台	2.10g/km
人	NH <sub>3</sub>	552万8,517人	0.05kg/人
下水	NH <sub>3</sub>	552万8,517人	0.027kg/人
農業起源			
牛		20万1,340頭	20.6kg/頭
豚	NH <sub>3</sub>	2万9,410頭	5.2kg/頭
鶏		10万2,523羽	0.27kg/羽

を乗じることにより NH<sub>3</sub>排出量の推計を行った。

## 2.2 自動車からの NO<sub>x</sub> および NH<sub>3</sub> 排出量の推計

三元触媒を装着しているガソリン車からは NO<sub>x</sub> はもとより、数十～85.4mg/km の NH<sub>3</sub> 排出<sup>4,5)</sup>が認められている。NH<sub>3</sub>の生成は空燃比によって影響され、理論空燃比よりも過濃側の状態で NO<sub>x</sub> 排出は抑えられるが、一方で NH<sub>3</sub>の生成量は増す<sup>4)</sup>関係にある。また NH<sub>3</sub>排出に関していえば、軽油車<sup>4,5)</sup>からも数 mg/km の排出が認められている。

本推計では、鷺山<sup>4)</sup>らの測定結果に基づく排出原単位(表1)と市町村別車種別自動車保有台数、燃料消費量から NO<sub>x</sub> および NH<sub>3</sub>排出量の推計を行った。

## 2.3 工場・事業所からの NO<sub>x</sub> 排出量

工場・事業所からの NO<sub>x</sub> 排出量は、届出書(1998年)に基づき市町別に集計した。

## 2.4 緑地種類別総生産量の推計

三宅<sup>6,7)</sup>は緑地種類を11種類(田, 畑, 樹園地, 牧草地, 針葉樹林(天然林および人工林), 常緑広葉樹林, 落葉広葉樹林, 竹林, 草地等, 都市公園)に分類し、単位面積当たりの総生産量(表2)を推定している。したがって、統計値(兵庫県統計年鑑:1999)に基づく市町別の緑地種類別面積に単位面積当たりの総生産量を乗じた値から県内の緑地による総生産量を推定した。

## 2.5 大気中の NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> 濃度推定法

表2 緑地種類と単位面積当たり純生産量および総生産量

緑地種類	純生産量(Pn) 総生産量(Pg)	
	(t/ha・yr)	
水田	11	18
畑	12	20
樹園地	10	20
竹林	10	20
針葉樹林	14	47
落葉広葉樹林	9	18
常緑広葉樹林	20	67

常時監視測定局の年間平均値データを基に等濃度分布図(図3)を作成し、図から地域の濃度を読み取った。なお、測定局のない市町についてはその分布の態様から推して地域の濃度を推定した。

## 2.6 緑地による NO<sub>2</sub> および SO<sub>2</sub> 吸収量の推計

三宅<sup>6,7)</sup>が提案している植物の総生産量から汚染物質の吸収量を推定するモデル式を用いて NO<sub>2</sub> 吸収量の推計を行った。すなわち、NO<sub>2</sub>吸収量は市町別に植物の総生産量および環境の NO<sub>2</sub>濃度から下記に示す式で算出した。

$$\text{NO}_2\text{吸収量} = 15.5(\text{cm}^3/\mu\text{g}) \times \text{NO}_2(\mu\text{g}/\text{cm}^3) \times \Sigma_1^n \text{植物の総生産量}(t)$$

なお植物の総生産量は、緑地種類別面積に単位面積当たりの総生産量(表2)を乗じた値であり、NO<sub>2</sub>濃度とともに年間値を用いることにより、年間の NO<sub>2</sub>吸収量を推計した。n は市町における緑地種類である。

また、SO<sub>2</sub>吸収量は NO<sub>2</sub>吸収量で求めたと同様の方法により次に示す式により算出した。

$$\text{SO}_2\text{吸収量} = 20.7(\text{cm}^3/\mu\text{g}) \times \text{SO}_2(\mu\text{g}/\text{cm}^3) \times \Sigma_1^n \text{植物の総生産量}(t)$$

## 2.7 緑地による CO<sub>2</sub> 吸収量<sup>6,7)</sup>の推計

緑地の CO<sub>2</sub>吸収量の総量は、純生産(光合成による有機物の総生産量から呼吸による消費量を差し引いた値)によって乾物に取り込まれた CO<sub>2</sub>量である。植物の純生産量は、緑地種類別面積に単位面積当たりの純生産量(表2)を乗じた値である。緑地の CO<sub>2</sub>吸収量は、植物体を構成する乾物に占める CO<sub>2</sub>の割合が(6CO<sub>2</sub>)/(C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>)=1.63にほぼ等しいことから次式で表わされるように、緑地の純生産量に1.63を乗じたものである。n は市町における緑地種類である。

表3 地域別に見た農業および都市起源のNH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>発生量(1998年)

項目	地域区分	神戸地域	阪神地域	東播磨地域	西播磨地域	但馬地域	丹波地域	淡路地域	計
面積 (km <sup>2</sup> )		549.5	648.5	1,161.7	2,431.9	2,133.4	870.9	595.2	8,391.2
都市起源	ガソリン車								
	NO <sub>x</sub> (t/yr)	1,408.3	1,579.7	1,413.2	1,309.1	334.4	217.3	275.0	6,537.1
	NH <sub>3</sub> (t/yr)	122.8	137.7	123.2	114.1	29.2	18.9	24.0	569.9
	ディーゼル車								
	NO <sub>x</sub> (t/yr)	5,680.9	4,950.5	4,669.2	5,259.2	1,239.2	811.3	972.5	2万3,582.8
	NH <sub>3</sub> (t/yr)	66.2	57.7	54.4	61.3	14.4	9.4	11.3	274.7
	工場・事業所								
	NO <sub>x</sub> (t/yr)	2,871.0	2,734.1	1万6,681.3	9,427.0	340.2	140.0	186.0	3万2,379.1
	人								
	NH <sub>3</sub> (t/yr)	73.8	83.4	51.3	43.6	10.2	6.0	8.0	276.3
下水									
NH <sub>3</sub> (t/yr)	39.4	44.6	27.4	23.3	5.4	3.2	4.3	147.6	
産業起源	内訳								
	NH <sub>3</sub> (t/yr)	205.4	94.0	299.8	321.9	249.0	171.5	912.9	2,254.5
	牛	205.4	93.9	283.0	279.7	178.8	167.7	865.2	2,073.7
	豚	—	—	11.9	31.2	61.4	2.5	46.0	153.0
	鶏	—	—	4.8	11.0	8.8	1.3	1.7	27.6
都市起源	NO <sub>x</sub> 合計 (t/yr)	9,960.2	9,264.3	2万2,763.7	1万5,995.3	1,913.8	1,168.6	1,433.5	6万2,499.4
	面積当たり濃度 (kg/ha・yr)	181.3	142.9	196.0	65.8	9.0	13.4	24.1	74.5
	NH <sub>3</sub> 小計 (t/yr)	302.2	323.4	256.3	242.3	59.2	37.5	47.6	1,268.4
農業起源	NH <sub>3</sub> 小計 (t/yr)	205.4	94.0	299.8	321.9	249.0	171.5	912.9	2,254.5
農業起源 + 都市起源	NH <sub>3</sub> 合計 (t/yr)	507.6	417.4	556.1	564.2	308.2	209.0	960.5	3,522.9
面積当たり濃度 (kg/ha・yr)		9.20	6.40	4.70	2.10	1.30	2.30	16.10	4.10
面積当たりのN濃度 (kg/ha・yr)		62.8	48.7	63.5	21.8	3.8	6.0	18.7	24.8
モル比 NH <sub>3</sub> /NO <sub>x</sub>		0.19	0.12	0.06	0.09	0.39	0.47	1.80	0.20

CO<sub>2</sub>吸収量 = 1.63 × Σi<sup>n</sup> 緑地の純生産量 (t)

### 3. 結果

#### 3.1 農業および都市起源のNH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>排出量

表3に示すように、県下における農業および都市起源のNH<sub>3</sub>の全排出量は3,523t/yrであり、うち農業起源である牛、豚、鶏による年間のNH<sub>3</sub>排出量は2,255t(64%)、都市起源である自動車、人および下水からの年間のNH<sub>3</sub>排出量は1,268t(36%)であった。地域別に見ると、農村部と都市部の特徴が明確であり、農業起源の年間のNH<sub>3</sub>排出量は淡路地域の913tがもっとも大きく、阪神地域の94tがもっとも小さかった。都市起源である自動車からのNH<sub>3</sub>排出量は845t/yr(ガソリン車:570t/yr, ディーゼル車:275t/yr)であり、阪神地域の人口密集地でもっとも高く195t/yr(22%)を占めた。また、人および下水からの排出量につ

いても人口密集地である阪神地域と神戸市域でもっとも大きく、丹波地域でもっとも小さかった。なお神成<sup>2)</sup>によれば、土壌からの脱窒等による天然起源のNH<sub>3</sub>排出は人為起源の10%以下であり、相対的に小さいとされることから本推計値に盛り込まなかった。

一方、都市起源のNO<sub>x</sub>排出量は6万2,500t/yrであり、うちディーゼル車からは2万3,583t(37.7%)、ガソリン車からは6,537t(10.5%)であり、工場・事業所からは3万2,379t(51.8%)であった[工場・事業所についてのNO<sub>x</sub>排出量は、1994年次の統計値<sup>8)</sup>(表4)を基に比較すると86%に相当するものであり、一部データの回収漏れも考えられた]。また、NO<sub>x</sub>排出量を地域別に見ると東播磨(36.4%)>西播磨(25.0%)>神戸(15.9%)>阪神(14.8%)の順で高く、丹波地域でもっとも低かった。図1は、燃料消費量およ

表 4 兵庫県下全域の発生源別 NOx 排出量<sup>8)</sup>

発 生 源	(単位：t/year)	
	1990年	1994年
工場・事業所	4万1,576(52.5%)	3万7,779(52.6%)
自動車	3万969(39.1%)	2万7,494(38.3%)
船舶	3,245(4.1%)	3,242(4.5%)
航空機	532(0.7%)	556(0.8%)
群小発生源	2,830(3.6%)	2,760(3.8%)
合 計	7万9,152(100%)	7万1,831(100%)

( )内は構成比を示す

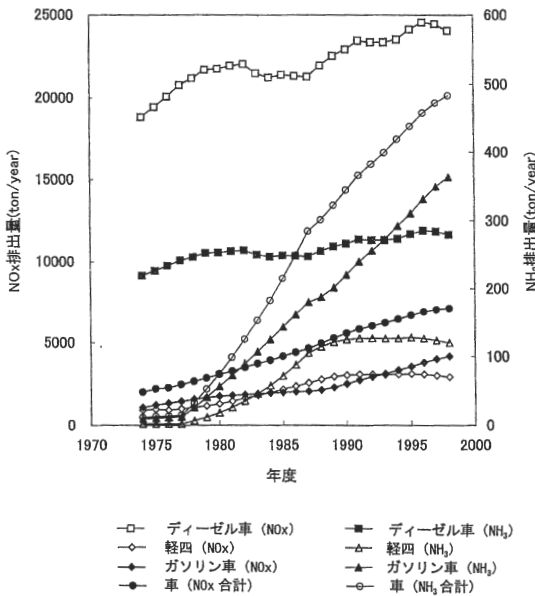


図 1 ガソリン車およびディーゼル車から排出される NH<sub>3</sub>、NO<sub>x</sub> の経年変化

び車種別自動車保有台数から1974～98年度の間のガソリン車およびディーゼル車それぞれから排出される NO<sub>x</sub> と NH<sub>3</sub> について経年変化を求めたものである。図から明らかなように、ディーゼル車からの NO<sub>x</sub> および NH<sub>3</sub> の年間排出量はディーゼル車の増加(74年を100としたとき98年次で128%)に伴い NO<sub>x</sub> で 1万8,817t から 2万3,583t, NH<sub>3</sub> で 219t から 275t に増加した。一方、ガソリン車からの NO<sub>x</sub> の年間排出量はガソリン車の増加(74年を100としたとき98年次で305%)に伴い 2,103t から 6,537t に増加した。また、NH<sub>3</sub> の年間排出量は78年時から三元触媒の装着が義務づけられるようになってから急激に増加し始め、11.5t から 570t と著しく増加した (NH<sub>3</sub>排出量は78年次より10

年間で三元触媒車に置き換わるものと仮定して算出した)。

自動車からの NO<sub>x</sub> 排出量の本推計値 3万120t/yr(98年)は、統計値<sup>8)</sup>(表 4) 3万969t/yr(90年), 2万7,494t/yr(94年)の結果とオーダー的にもよく一致した数値であり、本推計が妥当なものであることが示唆された。さらに、図からも明らかなように自動車から排出される NH<sub>3</sub>、NO<sub>x</sub> 量は漸増傾向にあることがうかがえ、とくにガソリン車から排出される NH<sub>3</sub> の増加が著しいことが環境への N の負荷といった視点から注目される。なお、表 4 からも明らかなように船舶、航空機、群小発生源からの NO<sub>x</sub> 排出量は、全排出量に占める割合が 10%以下と小さいことからここでは推計に盛り込まなかった。

### 3.2 窒素(NH<sub>3</sub>、NO<sub>x</sub>)の面積(1 ha)当たり排出量とモル比

表 3 に示されるように、NH<sub>3</sub>の面積当たり排出量は淡路地域が16.1kg/ha・yr ともっとも高く、次いで神戸地域の9.2kg/ha・yr が高かった。阪神、東播磨、丹波、西播磨、但馬の各地域は6.4～1.3 kg/ha・yr の範囲であった。県下全域の平均排出量は4.1kg/ha・yr であった。

一方、NO<sub>x</sub> の面積当たり排出量は東播磨、神戸、阪神の各地域が高くそれぞれ196.0、181.3、142.9kg/ha・yr であった。西播磨、淡路、丹波、但馬の各地域は65.8～9.0kg/ha・yr と低かった。県下全域の平均排出量は74.5kg/ha・yr であった。さらに、NH<sub>3</sub>/NO<sub>x</sub> のモル比で見ると淡路地域の1.80がもっとも高く、次いで丹波地域の0.47、但馬地域の0.39が高かった。逆に東播磨、西播磨、阪神、神戸の各地域は0.06～0.19と低かった。このように、都市部と農村部それぞれにおける NH<sub>3</sub>、NO<sub>x</sub> の排出特性の相違がモル比に反映された。

次に、窒素(NH<sub>3</sub>、NO<sub>x</sub>)の N としての面積当たり排出量を求め図 2 に示した。その結果、図からも明らかなように窒素の環境への排出負荷量として窒素飽和の最低の閾値<sup>9)</sup>とされる 10kg/ha・yr を下回ったのは但馬、丹波の両地域のみであり、淡路、西播磨の両地域は窒素飽和への移行が生ずるとされる 10～25kg/ha・yr の範囲内にあり、東播磨、神戸、阪神の各地域ではそれぞれ 63.5、

62.8, 48.7kg/ha・yrと、窒素飽和が生ずるとされる25kg/ha・yr以上の高い排出負荷量を示すことが明らかになった。

3.3 緑地によるNO<sub>2</sub>およびSO<sub>2</sub>吸収量の推計

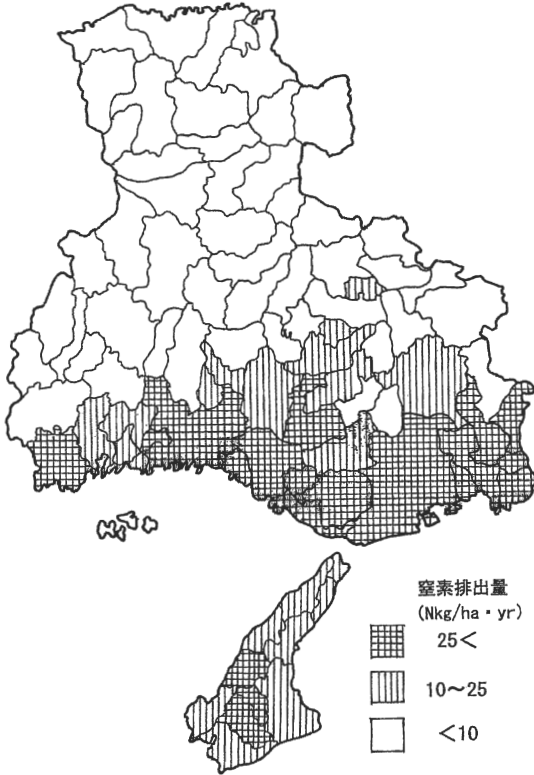


図2 面積当たりN排出量 (Nkg/ha・yr)

図3にNO<sub>2</sub>濃度(ppb)についての分布を示した。図に示される分布の態様から各市町のNO<sub>2</sub>濃度を読み取り、2.6に示した算出式に基づき市町ごとの緑地によるNO<sub>2</sub>吸収量を求めた。表5はNO<sub>2</sub>吸収量を緑地種類別の面積とともに示した。緑地種類別面積では針葉樹林の面積がもっとも大きく、次いで落葉広葉樹林であり緑地全体のそれぞれ約37%, 34%を占めた。総生産量が多く、NO<sub>2</sub>吸収能力が高い常緑広葉樹林の面積は緑地全面積の約17%であり、NO<sub>2</sub>吸収量は2,307t/yr(総吸収量の約37%)であった。次いで針葉樹林の2,137t/yr(同、約35%弱)が大きな吸収量を示した。落葉広葉樹林は1,240t/yr(同、20%)であった。単位面積あたりでは常緑広葉樹林の吸収量がもっとも大きく、1km<sup>2</sup>当たり2.32t/yrで落葉広葉樹林の約3.7倍であった。

次に、表6に地域別の緑地率とNO<sub>2</sub>吸収量について示した。表に示すように、緑地率はNO<sub>2</sub>濃度の分布(図3)とは逆に、神戸市域の49%から但馬、丹波地域の84%まで内陸部で大きくなった。

NO<sub>2</sub>濃度と緑地によるNO<sub>2</sub>の吸収量との関係は、緑地の種類別構成比が各地域において異なることから必ずしも緑地率に比例するものではないと考えられるが、図4は緑地率階級別にNO<sub>2</sub>濃

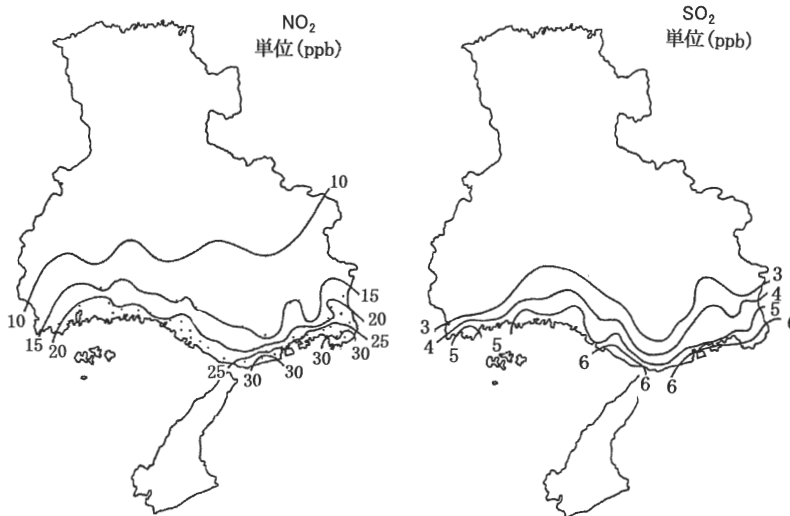


図3 大気中NO<sub>2</sub>およびSO<sub>2</sub>の濃度分布(1998)

表5 緑地種類別のNO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>吸収量および面積当たりの吸収量

項 目	水田	畑	果樹園	針葉樹林	落葉広葉樹林	常緑広葉樹林	竹林	計
面積(km <sup>2</sup> )	644.7	44.4	16.9	2,190.3	1,985.7	992.8	31.8	5,906.6
NO <sub>2</sub> 吸収量 (t/yr)	439.5 (0.68)	30.9 (0.69)	12.0 (0.71)	2137.2 (0.98)	1240.0 (0.62)	2,307.0 (2.32)	20.5 (0.64)	6,186.5 (1.05)
SO <sub>2</sub> 吸収量 (t/yr)	167.1 (0.26)	11.9 (0.27)	4.6 (0.27)	863.8 (0.39)	473.9 (0.24)	881.9 (0.89)	7.7 (0.24)	2,410.8 (0.41)
CO <sub>2</sub> 吸収量 (kt/yr) <sup>1</sup>	1,155.8 (1.79)	86.9 (1.96)	27.5 (1.63)	4,998.2 (2.28)	3,096.0 (1.56)	3,440.1 (3.47)	51.8 (1.63)	1万2,856.5 (2.18)

( )内の数字は緑地種類別に見た面積当たりの吸収量 (t/km<sup>2</sup>・yr) を示す

表6 地域別に見た緑地率とNO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>吸収量

項 目	神戸地域	阪神地域	東播磨地域	西播磨地域	但馬地域	丹波地域	淡路地域	計
面積(km <sup>2</sup> )	549.5	648.5	1,161.7	2,431.9	2,133.4	870.9	595.2	8,391.2
緑地面積 (km <sup>2</sup> )	270.6	354.6	690.6	1,871.5	1,799.4	735.1	372.1	6,093.8
緑地率(%)	49.2	54.7	59.4	77.0	84.3	84.4	62.5	72.6
NO <sub>2</sub> 吸収量 (t/yr) <sup>*1</sup>	554 (66.7)	559.4 (49.3)	779.3 (36.4)	2,100.8 (30.7)	1,203.4 (17.7)	568.2 (21.8)	421.6 (37.4)	6,186.5 (28.8)
SO <sub>2</sub> 吸収量 (t/yr) <sup>*2</sup>	232.0 (45.0)	212.6 (30.2)	319.8 (24.1)	829.8 (19.6)	475.1 (11.3)	167.7 (10.4)	173.9 (24.8)	2410.8 (18.1)
CO <sub>2</sub> 吸収量 (kt/yr)	549.0	727.4	1,405.6	3,992.4	3,875.9	1,554.3	752.0	1万2,856.5

\*1( )内の数字は大気中のNO<sub>2</sub>濃度を30ppbとしたときに緑地に吸収されるNO<sub>2</sub>量 (t/km<sup>2</sup>・yr) に対する割合(%)を示す

\*2( )内の数字は大気中のSO<sub>2</sub>濃度を10ppbとしたときに緑地に吸収されるSO<sub>2</sub>量 (t/km<sup>2</sup>・yr) に対する割合(%)を示す

度とNO<sub>2</sub>の吸収量との関係のみたものである。

緑地率が51%以上の階級では、いずれもNO<sub>2</sub>濃度とNO<sub>2</sub>吸収量は正の相関が認められた( $r=0.916\sim r=0.951$ , いずれも有意水準1%で有意)。また、緑地率が高くてNO<sub>2</sub>濃度が低い但馬・丹波地域、NO<sub>2</sub>濃度が高くて緑地率の低い阪神、東播磨、淡路の各地域ではNO<sub>2</sub>吸収量は小さく、緑地率、NO<sub>2</sub>濃度ともに中間的な西播磨地域において吸収量が1.0t/km<sup>2</sup>・yrを超える市町が多く見られることがわかった。

ここで、仮に大気中のNO<sub>2</sub>濃度30ppbとしたときを県全域の緑地によるNO<sub>2</sub>の潜在吸収能力として試算すると2万1,457.5t/yrとなり、NO<sub>2</sub>吸収量6,186.5t/yrは潜在吸収能力の28.8%に相当することがわかった。地域別に見ると、但馬、丹波の各地域におけるNO<sub>2</sub>吸収量はそれぞれの潜在吸収能力の17.7%、21.8%であり、NO<sub>2</sub>吸収に余力があることがわかる。逆に神戸、阪神の各地域ではすでに潜在吸収能力の5~7割近くに達している

ことがわかる。また、県下全域のNO<sub>x</sub>排出量に対する緑地によるNO<sub>2</sub>吸収量は約8.6%と見積られた。岡崎<sup>10</sup>が千葉県における推計値4.3%(1990年)を報告しているが、千葉県と比して針葉樹で2.2倍、落葉広葉樹で3.3倍、常緑広葉樹で5.2倍と緑地の種類別構成比と面積比が大きく相違することに基づくものであると考えられる。

同様にSO<sub>2</sub>についても試算したところ、緑地によるSO<sub>2</sub>吸収量は2,410.8t/yrとなり、係数が異なるだけであることからNO<sub>2</sub>吸収量と同様、植生の吸収能力の順位は同じになり、常緑広葉樹林で881.9t/yr(総吸収量の約37%)、針葉樹林で863.8t/yr(同、約35%弱)、落葉広葉樹林で473.9t/yr(同、約20%)と算出された。単位面積当たりでは常緑広葉樹林の吸収量が最も大きく、1km<sup>2</sup>当たり0.89ton/yrで落葉広葉樹林の約3.7倍であった。また、NO<sub>2</sub>同様、緑地によるSO<sub>2</sub>の潜在吸収能力をSO<sub>2</sub>濃度10ppbとして試算したところ、1万3,312.1t/yrとなり、SO<sub>2</sub>吸収量2,410.8t/yrは潜在

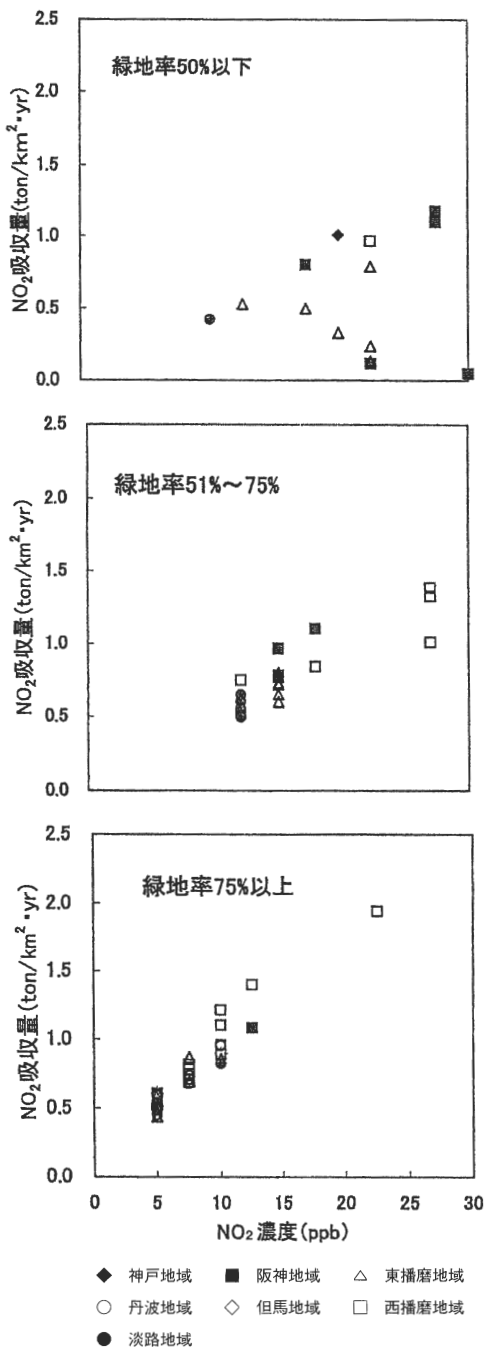


図4 緑地率階級別 NO<sub>2</sub> 濃度と吸収量との関係

吸収能力の18.1%に相当することがわかった。

### 3.4 緑地種類別,地域別に見た CO<sub>2</sub> 吸収量の推計

森林による CO<sub>2</sub>吸収量を概算するには、気候や土壌の肥沃度、樹木の種類、森林の生長段階、森林の管理方法など多くの不確定要素を含まざるを

得ない。また、森林の CO<sub>2</sub>固定量を評価するには純生産量という光合成による生産量から呼吸量を差し引いた量を把握しなければならない。

表6に示すように、県全域の緑地による CO<sub>2</sub>吸収量は1万2,857kt/yrであり、これを緑地種類別に見ると針葉樹林がもっとも大きく、4,998kt/yrであり、次いで常緑広葉樹林(3,440kt/yr)、落葉広葉樹林(3,096kt/yr)の順であった。CO<sub>2</sub>吸収量を地域別に見ると、西播磨>但馬>丹波>東播磨>淡路>阪神>神戸の順であった。また、県全体の総 CO<sub>2</sub>排出量<sup>11)</sup>7万4,591kt/yrの17.2%が緑地により吸収されると見積もられた。しかし、緑地は生長の旺盛な時期には純生産によって実質的な CO<sub>2</sub>固定が行われるが、植生が成熟してくると純生産による CO<sub>2</sub>吸収と枯死・腐敗による CO<sub>2</sub>放出が釣り合ってしまう、実質的な CO<sub>2</sub>吸収は起こらなくなる。また、作物は収穫されて消費されれば CO<sub>2</sub>は再び放出され、長期的に見れば緑地そのものには CO<sub>2</sub>を実質的に吸収する能力はないことになる。しかし、実質的な CO<sub>2</sub>固定がなされた木材は燃えたり、腐ったりしない限り CO<sub>2</sub>の貯蔵庫としての役割を果たすことから建築物としてできるだけ長く有効的に活用し、一方で後継の樹木の植樹育成による循環型社会の形成が急がれる。

### 4. ま と め

- ① 県下における農業および都市起源の NH<sub>3</sub>の年間排出量は3,523t/yrであり、うち農業起源の排出量は2,255t(64%)であり、都市起源の排出量は1,268t(36%)であった。一方、NO<sub>x</sub>排出量は工場・事業所からのものが全排出量7万1,831t/yrの50%強を占め、自動車からのものが40%弱を占めることがわかった。
- ② NH<sub>3</sub>排出量(農業・都市起源)を面積当たりで見ると淡路地域の16.10kg/ha・yrが著しく大きく、但馬地域の1.30kg/ha・yrが最小であった。同様に、NO<sub>x</sub>排出量を面積当たりで見ると、東播磨、神戸、阪神の各地域の順で高く、それぞれ196.0、181.3、142.9kg/ha・yrであり、但馬地域の9.0kg/ha・yrが最小であった。
- ③ 窒素(NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>)のNとしての面積当たり排出量を求めたところ、窒素の環境への負荷量として窒素飽和の最低の閾値とされる10kg/ha・

yrを下回ったのは但馬、丹波の両地域のみであり、淡路、西播磨の両地域では窒素飽和への移行が生ずるとされる10~25kg/ha・yrの範囲内にあり、東播磨、神戸、阪神の各地域ではそれぞれ窒素飽和が生ずるとされる25kg/ha・yrを超える63.5、62.8、48.7kg/ha・yrと高い排出負荷量を示した。

- ④ NH<sub>3</sub>/NO<sub>x</sub>のモル比で見ると、淡路地域の1.80がもっとも高く、次いで丹波地域の0.47、但馬地域の0.39が高かった。逆に東播磨、西播磨、阪神、神戸の各地域は0.06~0.19と低かった。このように、都市部と農村部におけるNH<sub>3</sub>、NO<sub>x</sub>それぞれの排出特性の相違がモル比に反映された。
- ⑤ 緑地種類別面積では針葉樹林がもっとも大きく、次いで落葉広葉樹林でありそれぞれ緑地全体の約37%、34%を占めた。総生産量が多く、NO<sub>2</sub>吸収能力が高い常緑広葉樹林は約17%であった。NO<sub>2</sub>吸収量は針葉樹林、常緑広葉樹林ともに総吸収量に対する割合が約36%ともっとも大きかった。落葉広葉樹林は約20%であった。単位面積当たりでは常緑広葉樹林の吸収量が最も大きく、1km<sup>2</sup>当たり2.2t/yrで落葉広葉樹林の約3.7倍であった。県下全域のNO<sub>x</sub>発生量に対する緑地によるNO<sub>2</sub>吸収量は約8.6%と見積もられた。
- ⑥ 緑地率が高くてもNO<sub>2</sub>濃度が低い但馬・丹波地域、NO<sub>2</sub>濃度が高くても緑地率の低い阪神、東播磨、淡路の各地域ではNO<sub>2</sub>吸収量は小さく、緑地率、NO<sub>2</sub>濃度ともに中間的な西播磨地域において吸収量が1.0t/km<sup>2</sup>・yrを超える市町が多く見られることがわかった。
- ⑦ 大気中のNO<sub>2</sub>濃度30ppb、SO<sub>2</sub>濃度10ppbとして県全域の緑地によるNO<sub>2</sub>およびSO<sub>2</sub>の潜在吸収能力を試算するとそれぞれ2万1,457.5t/

yr、1万3,312.1t/yrとなり、見積もられたNO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>吸収量はそれぞれの潜在吸収能力の28.8%、18.1%に相当することがわかった。

- ⑧ 県全域の緑地によるCO<sub>2</sub>吸収量は1万2,857kt/yrであり、地域別に見ると西播磨>但馬>丹波>東播磨>淡路>阪神>神戸の順であった。また、県全体の総CO<sub>2</sub>排出量7万4,591kt/yrの17.2%が緑地により吸収されると見積もられた。

#### 一 参 考 文 献 一

- 1) Murano K., Hatakeyama S., Mizoguchi T., Kuba N.: Gridded ammonia emission fluxes in Japan. *Water Air Soil Pollution*, 85, 1915~1920 (1995)
- 2) 神成陽容、馬場剛、速水洋：日本におけるアンモニア排出の推計。大気環境学会誌 36 (1), 29~38 (2001)
- 3) 横山新紀、押尾敏夫：千葉県における酸性雨原因物質の排出量の把握 (2) アンモニア発生量の経年変化。大気環境学会講演要旨集, 452 (2000)
- 4) 鷲山享志、中澤誠、鈴木正明：自動車からのアンモニアの排出量調査。神奈川県環境科学センター研究報告, 7~11 (1998)
- 5) Sutton M.A., Dragosits U., Tang Y.S., Fowler D.: Ammonia emissions from non-agricultural sources in the UK. *Atmos. Environ.* 34, 855~869 (2000)
- 6) 三宅博：植物の生産量に基づく緑地の大気浄化機能の評価。人間環境系研究報告書G038-N31-13, 15~30 (1990)
- 7) 戸塚績：植物の生産力に基づく各種植物群落のガス吸収量の評価。国立公害研究所研究報告, 第108号, 19~24 (1987)
- 8) 兵庫県：総量削減計画進行管理調査 (平成8年度環境庁委託業務結果報告書) (1997)
- 9) Wright R.F., Roelofs J.G.M., Bredemeier M., Blanck K., Boxman A.W., Emmett B.A., Gundersen P., Hultberg H., Kjonaas O.J., Moldan F., Tietema A., Breemen F.V. NITREX: responses of coniferous forest ecosystems to experimentally changed deposition of nitrogen. *Forest Ecology and Management*, 71, 163~169 (1995)
- 10) 岡崎淳：千葉県における緑地によるNO<sub>2</sub>吸収量の推定。千葉県環境研究所研究報告, 27, 25~33 (1995)
- 11) 兵庫県：新兵庫県地球温暖化防止推進計画 (2000. 3)