

**BULLETIN  
OF  
RESEARCH INSTITUTE OF ENVIRONMENT, AGRICULTURE AND FISHERIES,  
OSAKA PREFECTURAL GOVERNMENT**

No 1 March 2008

**大阪府環境農林水産総合研究所  
研 究 報 告**

第 1 号 平成20年 3 月

# 大阪府環境農林水産総合研究所研究報告

## 第1号(平成20年3月)

---

### 目 次

#### 「技術論文」

木材の大気浄化能力の評価 ..... 辻野喜夫・吉良靖男・荘保伸一 .....	1
大阪府域でのパッシブ簡易測定法による酸性ガスの測定 ..... 西川嘉範・畑中 弘 .....	6
大阪-都市域におけるガス状亜硝酸の挙動 ..... 岡 憲司 .....	13
多様な生物相復元のためのエコアップ手法の確立 ..... 山田倫章・松下美郎・石井 亘 .....	22
水資源かん養のために間伐されたスギ・ヒノキ林への広葉樹の侵入状況 ..... 伊藤孝美 .....	28
食品製造副産物を用いた高密度乳酸菌培養と乳牛への給与効果 ..... 平康博章・藤谷泰裕・瀬山智博・笠井浩司・ 西村和彦・三枝尚洋・中野長久 .....	34
<b>[短 報]</b>	
熱融着性ポリエステル繊維を用いた固化培地で育苗した花壇苗の特性 ..... 豊原憲子・山田英嗣・松下美郎 .....	41
ナメクジの土壌中における生態把握のための試験法の検討 ..... 佐野修司・田中 寛・柴尾 学・内山知二 .....	44
大阪府内におけるスルホニルウレア系除草剤(SU剤)抵抗性雑草の発生状況 ..... 深井正清・植田正浩・上田善紀・松下美郎 .....	46

# 木材の大気浄化能力の評価

辻野喜夫・吉良靖男\*・荘保伸一\*\*

## Air Purification Ability of Wood

Yoshio TSUJINO, Yasuo KIRA\*, Shinichi SHOUHO\*\*

### Summary

Nitrogen dioxide, a serious air pollutant, was purified on the surface of wood. The nitrogen dioxide purification ability of wood was evaluated by an air purification test procedure for photocatalytic materials (JIS R 1701-1:2004). The ability of black heartwood in Sugi wood (*Cryptomeria Japonica*) was achieved at a level, 2 times higher than that of photocatalytic reduction of nitrogen oxides.

### はじめに

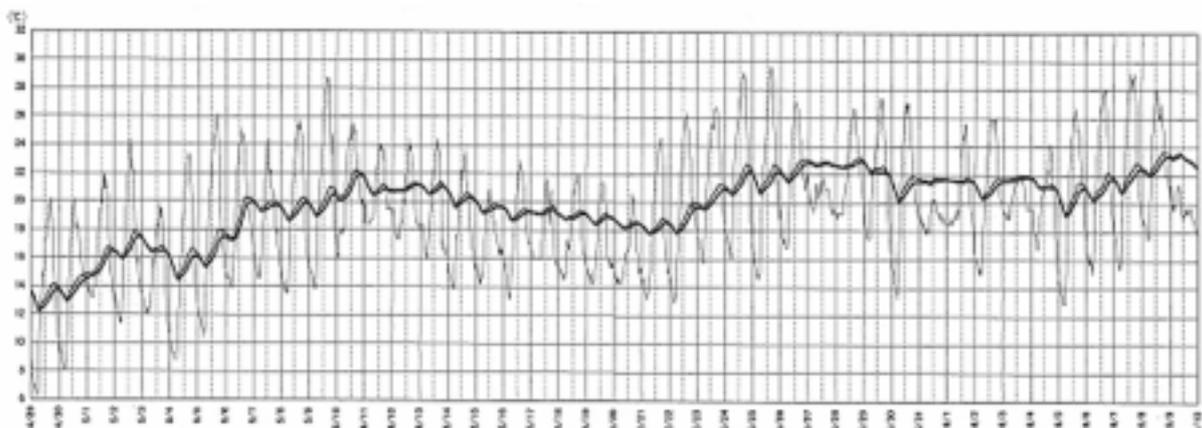
緑豊かな森林は、地球温暖化ガスの二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) を蓄積し、大気汚染や水質汚濁を浄化する機能を発揮する。しかし近年、大阪府域を例に取れば、森林面積約57,000haのうち間伐を要するスギ、ヒノキの人工林は年間約1,340haであり、このうち62%が間伐を実施されているに過ぎない。森林整備の遅れによって本来森林のもつ環境浄化機能が十分に発揮されていない状況にある。さらに、間伐材の8割は未利用のまま林内に放置されている。間伐を促進し、森林を活性化し、森林を保全するためには、間伐材を有効活用する技術の開発が不可欠である。

### 1. 木材の大気浄化機能

森林には、大気汚染を浄化する機能があることは知られていたが、伐採され「木材」になってからも優れた浄化機能を発揮する。

東大寺正倉院では、ヒノキの校倉の中のスギの唐櫃の中に数多くの御物が納められ、1,250年間保存されてきた。従来、この現象は、校倉の内部の温度、湿度が一定に保たれてきたことによると考えられてきた(第1.1~1.2図)。

しかし、木造建造物の内部では、二酸化窒素 (NO<sub>2</sub>)、二酸化硫黄 (SO<sub>2</sub>) およびオゾン (O<sub>3</sub>) 等が外気よりも70~90%減少し、その現象が千二百五十年前の正倉院

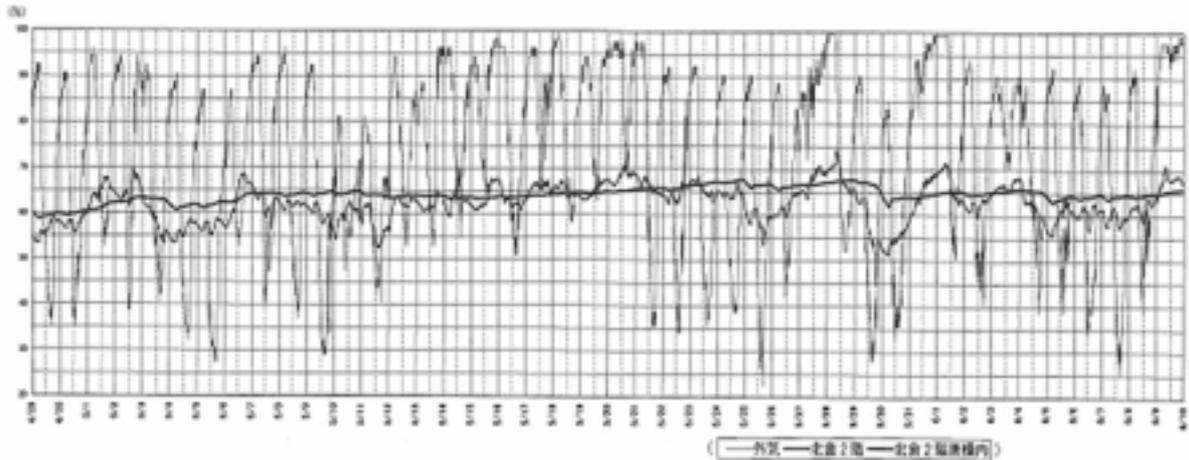


第1.1図 正倉内外の気温変動 (平成12年4月29日 - 6月9日)<sup>1)</sup>

外気の日変動:10 , 校倉内部の日変動:1.4 , 唐櫃内部の日変動:1.2

\*大阪府環境農林水産部 地球環境課 (研究担当時 森林課) (Global Environment Division, Osaka Prefectural Government)

\*\*越井木材工業 (株) (KOSHII & CO., LTD)



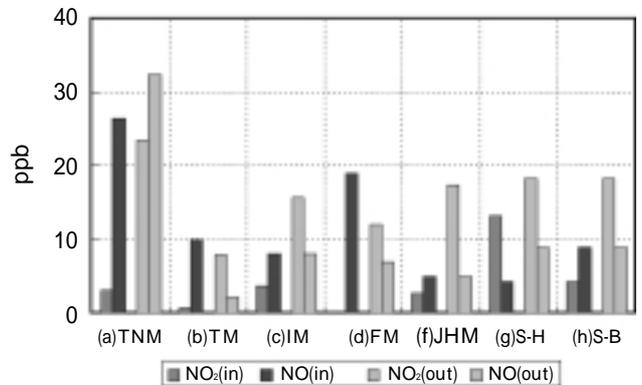
第1.2図 正倉内外の湿度変動(平成12年4月29日-6月9日)<sup>1)</sup>  
 外気の日変動:47.5%, 校倉内部の日変動:7.2%, 唐櫃内部の日変動:1.1%

のヒノキの校倉やスギの唐櫃の内部でも観察された。

正倉院の校倉内や木製の収蔵庫内部では、電力を使用した長期間サンプリングは不可能で、拡散型サンプラー(東泉テクノ社製)によりNO<sub>2</sub>およびNO<sub>x</sub>を採取し、イオンクロマト分析に供した。NO<sub>x</sub>-NO<sub>2</sub>により一酸化窒素(NO)濃度を算出した。正倉院のヒノキの校倉および5博物館の収蔵庫内で、大気汚染調査を実施した<sup>2)</sup>。拡散型サンプラーを収蔵庫中と、屋外の百葉箱中に1か月間、2回設置した。第1回大気汚染調査(1999年10月22日~11月19日)の結果を第2図に、また、第2回の調査(2000年2月2日~3月4日)の結果を第3図に示す。木造建造物(木製の収蔵庫を含む)は、外気に比較して、NO<sub>2</sub>濃度が低下し、NO濃度が上昇する傾向にあった。

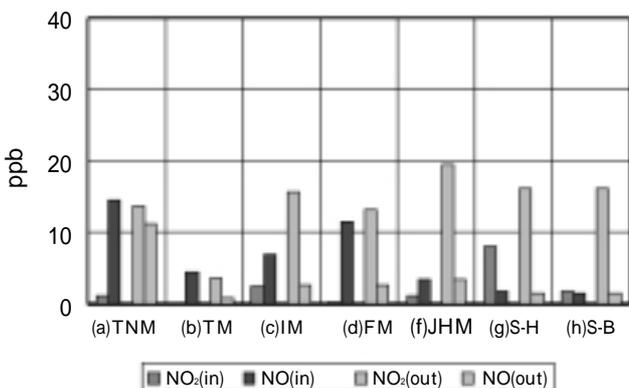
NO<sub>2</sub>浄化能力に及ぼす木造建造物の建築経過年数の影響を第4図に示す。NO<sub>2</sub>浄化能力( )は1,250年間も高い水準で維持され、NO<sub>2</sub>のNOへの還元能力( )は65年間以上も保持されていた。

また、スギ、ヒノキ、米スギのおが屑(2g)にNO<sub>2</sub>標準ガス(5,000ppb)を通気する実験<sup>3)</sup>では、第5図に示すように、日本の人工林の主要樹種であるスギに最も高

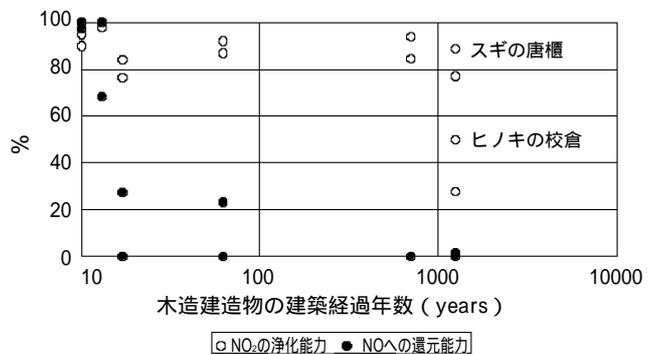


第3図 第2回大気汚染調査(2000年2月2日~3月4日)<sup>2)</sup>

いNO<sub>2</sub>の浄化能力(91.2%)があった。以上の調査、実験から、校倉造り建物内では、温度、湿度が一定に保たれ、且つ、大気が浄化されてきたために、文化財の良好な保存環境が保たれたと考えられる。また、木造建造物内での環境は、文化財だけではなく、人間の生活空間としても適切なものであり、都市におけるNO<sub>2</sub>高濃度地域の屋内空気環境改善にも役立つものである。



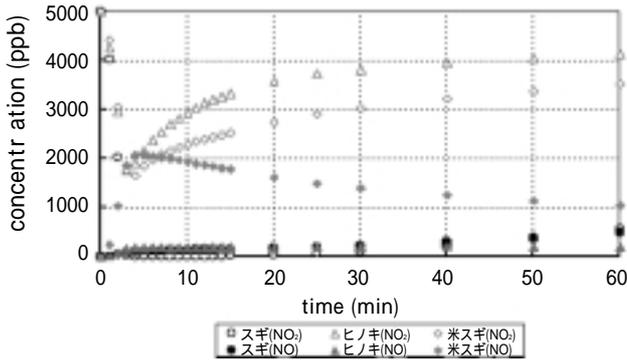
第2図 第1回大気汚染調査(1999年10月22日~11月19日)<sup>2)</sup>



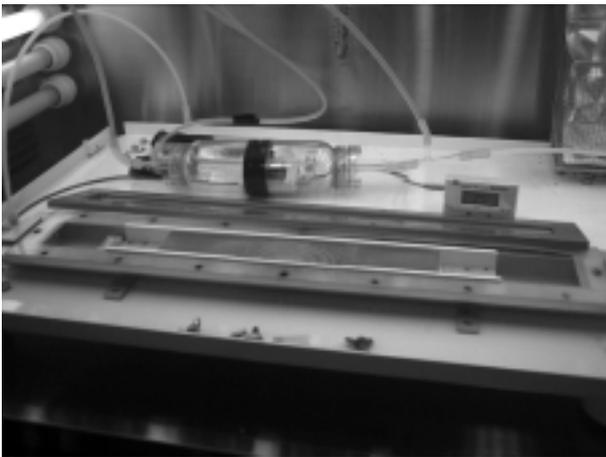
第4図 NO<sub>2</sub>浄化還元能力に及ぼす建築経過年数の影響<sup>3)</sup>

$$\text{NO}_2 \text{ 浄化 \%} = 100 \times (1 - \text{indoor NO}_2 / \text{outdoor NO}_2)$$

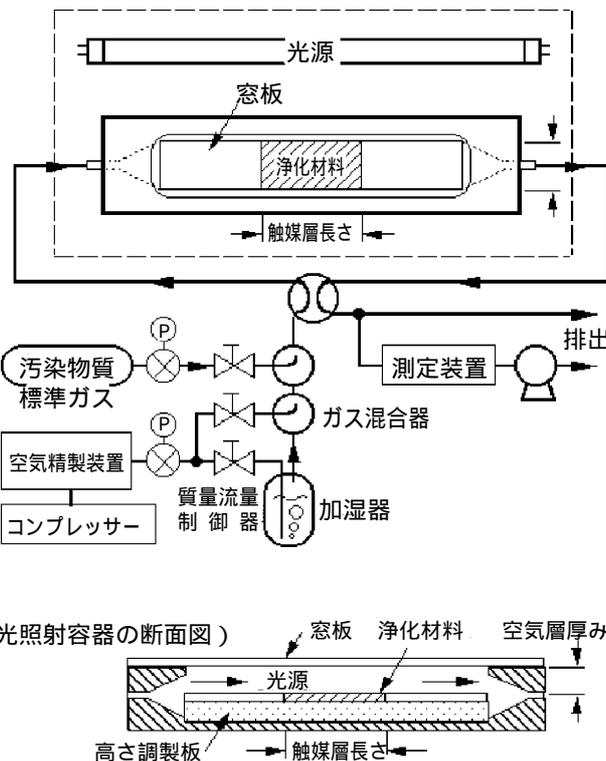
$$\text{NO 還元 \%} = 100 \times (\text{indoor NO} - \text{outdoor NO}) / \text{outdoor NO}_2$$



第5図 木材種の出口NO<sub>2</sub> & NO濃度に及ぼす影響<sup>3)</sup>



第6.1図 光触媒試験器によるスギおが屑およびスギ板のNO<sub>2</sub>浄化能力の評価試験装置



第6.2図 光触媒試験器の模式図 (JIS R1701-1:2004)

．木材および方法

1．木材のNO<sub>2</sub>浄化能力の評価方法

木材による大気汚染物質 (NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, ホルムアルデヒド) の浄化試験法には、日本工業規格 (JIS) で定められたものはない。しかし、スギの大気浄化機能を活用した環境浄化商品の開発やスギ材の木造建造物への利用が進むと、浄化能力を評価する方法が必要になってくる。

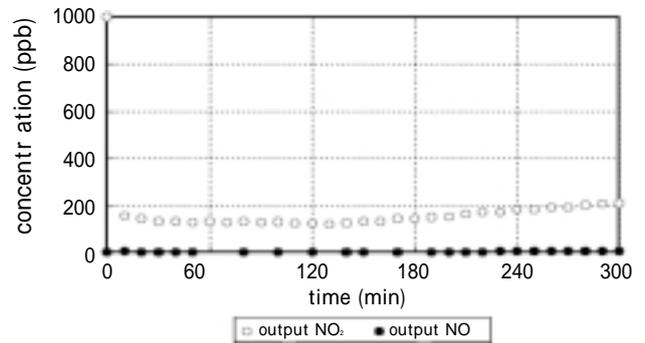
現在、光触媒材料の大気浄化試験法は、JIS R1701-1:2004で定められているので、木材の大気浄化試験法には、光を照射しないJIS R1701-1:2004の方法を用いた。

光触媒試験法によるスギおが屑およびスギ板のNO<sub>2</sub>浄化能力の評価試験装置を第6.1図及びJIS R1701-1:2004の装置模式図を第6.2図に示す。

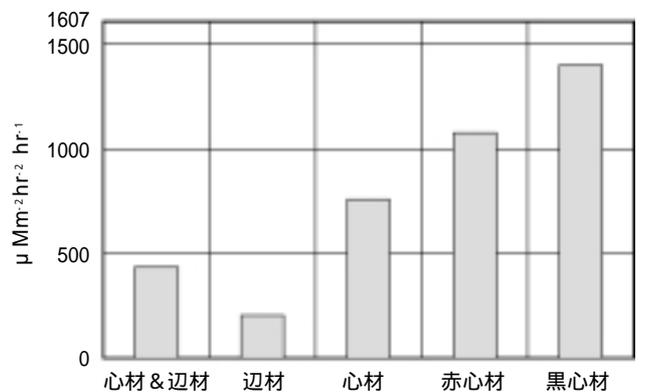
．結果および考察

1．光触媒試験器による浄化能力の評価

光触媒試験器による黒心材おが屑の浄化能力の評価値を



第7図 光触媒試験器によるスギ黒心材おが屑のNO<sub>2</sub>浄化能力  
 導入NO<sub>2</sub>濃度: 1,000 ppb. NO<sub>2</sub>ガス流量: 3 L/分 (線速度20cm/秒).  
 おが屑量: 9.6 g (50cm<sup>2</sup> × 1.5 cm). 滞留時間 (t): 0.5 秒. RT: 25 .  
 RH: 80 ± 5 %.



第8図 光触媒試験器によるスギおが屑のNO<sub>2</sub>浄化能力評価  
 導入NO<sub>2</sub>濃度: 1,000 ppb. NO<sub>2</sub>ガス流量: 3 L/分 (線速度20cm/秒).  
 通気NO<sub>2</sub>総量: 1607 μM/m<sup>2</sup>/時. おが屑量: 8-10 g (50cm<sup>2</sup> × 1.5cm).  
 滞留時間 (t): 0.5 秒. RT: 25 . RH: 80 ± 5 %.

第1表 スギ(黒心材おが屑, 黒心材挽きたて板, 赤心材プレーナー仕上げ板)のNO<sub>2</sub>浄化能力と光触媒のNO<sub>x</sub>浄化能力の比較

	$\mu\text{M} \cdot 50\text{cm}^{-2} \cdot 5\text{hr}^{-1}$	$\mu\text{M} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{hr}^{-1}$
スギ黒心材おが屑	34.4	1,400
スギ黒心材挽きたて板	1.97	395
スギ心材プレーナー仕上げ板	0.38	76
光触媒	2.2 ~ 16.4 (実質1/3倍)	

初期濃度:1,000ppb, 風速:0.2m/sec, 反応温度:25 ,  
RH:80±5% (おが屑, 木材) 50% (光触媒)

第7図に示す。また、種々のおが屑の浄化能力の比較を第8図に示す。スギおが屑の浄化能力は、心材(河内長野産)の場合、辺材よりも4倍大きく、通常の混合物よりも2倍大きい。また、心材の内でも、鳥取産の赤心材がさらに大きく、宮崎産の飢肥杉の黒心材が最も大きかった。

スギ黒心材おが屑、挽きたて板およびプレーナー仕上げ板と、光触媒の窒素酸化物の浄化能力とを第1表に示す。黒心材おが屑の浄化能力は、光触媒の窒素酸化物の浄化能力よりも2倍大きい(光触媒の実稼働率は1/3倍なので、実質6倍の能力)。しかし、スギ黒心材であっても、挽きたて板やプレーナー仕上げ板のように、板の状態では低い浄化能力であった。

## 2. 黒心材おが屑の木製低層遮音壁への活用<sup>4)</sup>

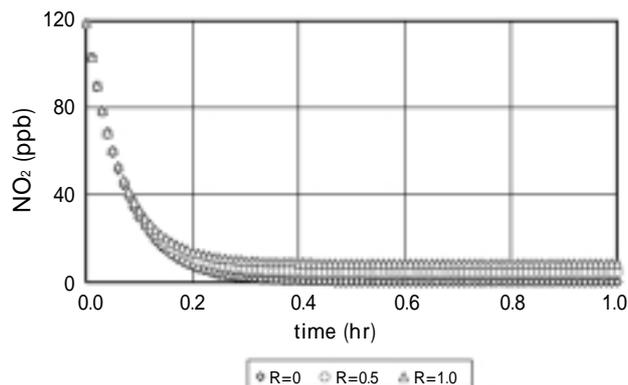
交通量の多い沿道から5m地点に高さ1mの木製(黒心材おが屑)遮音壁を道路両端1Kmに設置した場合を想定した。40Km/時で走行する乗用車のNO<sub>x</sub>排出原単位は、2,174  $\mu\text{M} \cdot \text{Km}^{-1}$  (平成17年度大阪府)。沿道から5mのNO<sub>2</sub>濃度を60ppbと想定した場合、黒心材おが屑の木製低層遮音壁(表面積:1m×1,000m×両面×両端=4,000m<sup>2</sup>)のNO<sub>2</sub>浄化量は0.32Mol/時[第1表{1,400  $\mu\text{M} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{hr}^{-1}$  (暴露NO<sub>2</sub>濃度:1,000ppb)}から、NO<sub>2</sub>浄化量は暴露NO<sub>2</sub>濃度(60ppb)に線形比例するととして算出(60ppb/1,000ppb)]であった。この木製低層遮音壁の設置は、乗用車3,600台/日の通行台数を削減したのと同じ効果を生むことになる。

## 3. NO<sub>2</sub>浄化評価関数による屋内浄化シミュレーション

NO<sub>2</sub>浄化評価関数は、室内が完全に攪拌された状態を仮定した理想系での物質収支式であり、木材による浄化の寄与、外気の換気による寄与、室内でのNO<sub>2</sub>発生源による寄与から成る差分方程式である。

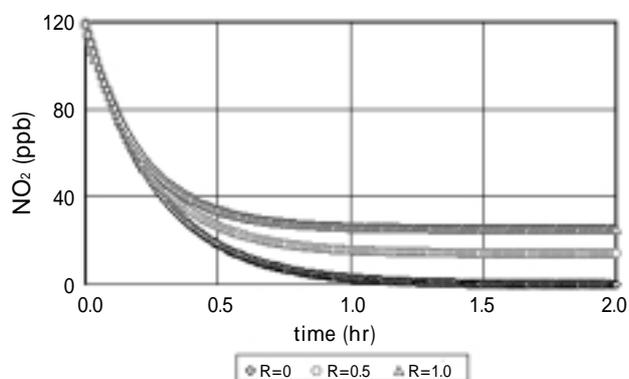
木材のNO<sub>2</sub>浄化評価関数による屋内浄化シミュレーションの結果を第9~11図に示す。

黒心材おが屑、挽きたて板及びプレーナー仕上げ板のNO<sub>2</sub>浄化能力(第1表参照)は、暴露NO<sub>2</sub>濃度(0~



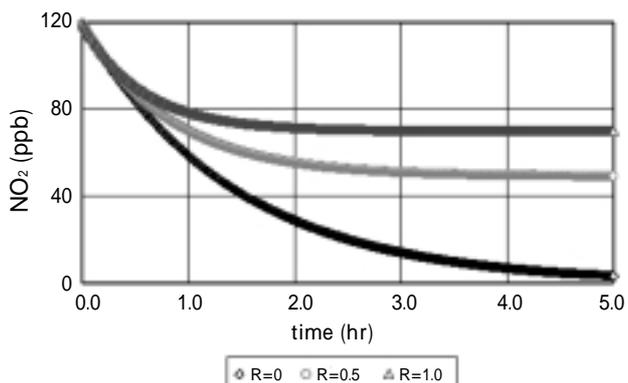
第9図 スギ黒心材おが屑による屋内のNO<sub>2</sub>浄化能力

初期濃度C<sub>0</sub>=119ppb, 外気のNO<sub>2</sub>濃度C<sub>outdoor</sub>=119ppb,  
室内容積V=2.7×2.7×2.4m, スギおが屑面積S=7.3m<sup>2</sup>(天井面),  
換気速度R=0.0-1.0 (times/hr), 室内でのNO<sub>2</sub>発生源Q=0 ( $\mu\text{M/hr}$ ),  
t=0.01hr, 室温=25 , RH=80±5%.



第10図 スギ黒心材挽きたて板による屋内のNO<sub>2</sub>浄化能力

初期濃度C<sub>0</sub>=119ppb, 外気のNO<sub>2</sub>濃度C<sub>outdoor</sub>=119ppb,  
室内容積V=2.7×2.7×2.4m, スギ板面積S3 7.3m<sup>2</sup>(天井面),  
換気速度R=0.0-1.0 (times/hr), 室内でのNO<sub>2</sub>発生源Q=0 ( $\mu\text{M/hr}$ ),  
t=0.01hr, 室温=25 , RH=80±5%.



第11図 スギ赤心材プレーナー仕上げ板による屋内のNO<sub>2</sub>浄化能力

初期濃度C<sub>0</sub>=119ppb, 外気のNO<sub>2</sub>濃度C<sub>outdoor</sub>=119ppb,  
室内容積V=2.7×2.7×2.4m, スギ板面積S3 7.3m<sup>2</sup>(天井面),  
換気速度R=0.0-1.0 (times/hr), 室内でのNO<sub>2</sub>発生源Q=0 ( $\mu\text{M/hr}$ ),  
t=0.01hr, 室温=25 , RH=80±5%.

1,000ppb)に線形比例するとした。

NO<sub>2</sub>の初期濃度及び外気濃度は、大阪府下の道路沿道測定局の過去2年間で最も高濃度を示した119ppb(1時間値)を用いた。

今回の計算にもちいた室内は4.5畳、天井高さ2.4mであったが、天井高さが2.4mであれば、室内の大きさは例え何十畳の大きさであっても、計算結果に影響しなかった。

### 1) スギ黒心材おが屑によるNO<sub>2</sub>浄化評価関数

$$C_{(n+1)t} = C_{nt} - 31.36(S/V)C_{nt} + (C_{outdoor} - C_{nt})R \cdot t + 22.4(Q/V) \quad (n=0, 1, 2, 3, \dots)$$

$$R \cdot t + 22.4(Q/V) \quad (n=0, 1, 2, 3, \dots)$$

$$C_{nt}: n \times t \text{時間後の室内のNO}_2 \text{濃度 (ppb),}$$

S: 室内のスギおが屑面積(m<sup>2</sup>),

V: 室内容積(m<sup>3</sup>),

C<sub>outdoor</sub>: 外気のNO<sub>2</sub>濃度(ppb),

R: 換気速度(times/hr),

Q: 室内でのNO<sub>2</sub>発生量(μM/hr),

t: 差分時間(hr).

$$31.36(m^3/m^2/hr) = 1,400(\mu M/m^2/hr) / 1,000 \times 22.4(m^3/\mu M)$$

おが屑で天井面を張ることなど、実際には有り得ないが、第9図に示すように、何れの換気速度(0, 0.5, 1.0 times/hr)でも、僅か5分で40ppb以下になった。

### 2) スギ黒心材挽きたて板によるNO<sub>2</sub>浄化評価関数

$$C_{(n+1)t} = C_{nt} - 8.85(S/V)C_{nt} + (C_{outdoor} - C_{nt})R \cdot t + 22.4(Q/V) \quad (n=0, 1, 2, 3, \dots)$$

$$8.85(m^3/m^2/hr) = 395(\mu M/m^2/hr) / 1,000 \times 22.4(m^3/\mu M)$$

天井面をスギ黒心材挽きたて板で張った場合、何れの換気速度(0, 0.5, 1.0 times/hr)でも、第10図に示すように、1時間以内に40ppb以下になった。

### 3) スギ心材プレーナ仕上げ板によるNO<sub>2</sub>浄化評価関数

$$C_{(n+1)t} = C_{nt} - 1.70(S/V)C_{nt} + (C_{outdoor} - C_{nt})R \cdot t + 22.4(Q/V) \quad (n=0, 1, 2, 3, \dots)$$

$$1.70(m^3/m^2/hr) = 76(\mu M/m^2/hr) / 1,000 \times 22.4(m^3/\mu M)$$

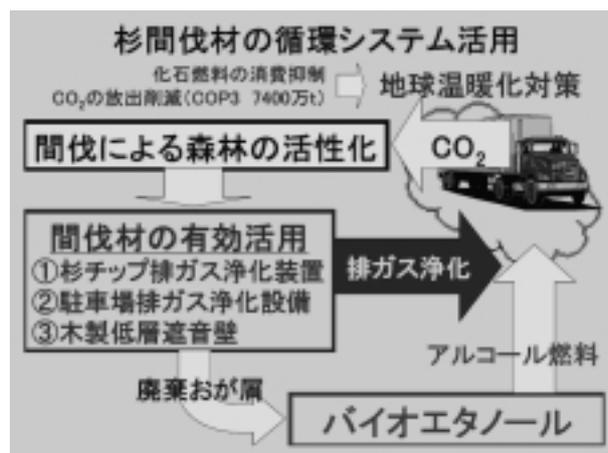
スギ板の表面を飽でツルツルにしたスギ心材プレーナ仕上げ板では、換気のある状態では、第11図に示すように40ppb以下にならなかった。

### 4. 間伐材の循環システム活用によるCO<sub>2</sub>削減

使用済の廃棄バイオマスは、最終的には、バイオエタノール燃料として利用し、炭素循環によるCO<sub>2</sub>削減(第12図)に貢献するので、植物材料を利用した大気汚染浄化方法は、環境に優しい環境浄化技術である。間伐材を循環システム活用する技術の研究開発は、森林保全と、大気汚染対策と、炭素循環によるCO<sub>2</sub>削減との一石三鳥の貢献をすることになる。

## . 摘要

間伐材を有効活用する技術の開発を目的として、木材の大気浄化機能を評価する方法を検討した。木材の大気



第12図 バイオマスの循環システム活用の模式図

浄化試験法には、光を照射しないJIS R1701-1:2004の方法を用いた。宮崎産の飫肥杉の黒心材おが屑の浄化能力は、光触媒の窒素酸化物の浄化能力よりも2倍大きかった(光触媒の実稼働率は1/3倍なので、実質6倍の能力)。交通量の多い沿道から5m地点に高さ1mの木製(黒心材おが屑)遮音壁を道路両端1Kmに設置した場合、乗用車3,600台/日の通行台数を削減したのと同じ効果を生むことになる。NO<sub>2</sub>浄化評価関数による浄化シミュレーションでは、天井面をスギ黒心材挽きたて板で張った場合、何れの換気速度(0, 0.5, 1.0 times/hr)でも、1時間以内に40ppb以下になった。しかし、スギ心材プレーナ仕上げ板では、換気のある状態では、40ppb以下にならなかった。

## . 引用文献

- 1) 成瀬正和(2001). 短報 - 正倉院の温湿度環境調査. 正倉院紀要. 23:61-66.
- 2) 辻野喜夫他(2002). 有機酸パッシブサンプリング法および博物館収蔵庫内における有機酸の挙動. [共同研究] 博物館資料の保存環境. 国立歴史民俗博物館研究報告. 97:29-43.
- 3) 辻野喜夫他(2003). 木材表面における二酸化窒素の浄化作用と還元性雰囲気との醸成. 大阪府環境情報センター所報. 23:49-55.
- 4) 大阪府低層遮音壁技術検討会(2007). エコバリア環境に配慮した低層遮音壁の技術評価.

# 大阪府域でのパッシブ簡易測定法による酸性ガスの測定

西川嘉範・畑中 弘

## Measurement of Acidic Gases within Osaka Prefecture Using a Simple Passive Sampling Method

Yoshinori NISHIKAWA and Hiroshi HATANAKA

### Summary

Nitric acid ( $\text{HNO}_3$ ), hydrochloric acid ( $\text{HCl}$ ), sulfur dioxide ( $\text{SO}_2$ ), ozone ( $\text{O}_3$ ) and nitrogen dioxide ( $\text{NO}_2$ ) were sampled by the use of proposed simple passive samplers that were composed of collection media wrapping with poly-tetra-fluoro-ethylene (PTFE) sheet. Polyamide filter, ( $\text{NaNO}_2+\text{K}_2\text{CO}_3$ ) impregnated filter and triethanolamine (TEA) impregnated filter were used as collection media. Sampling rate of the passive sampler was obtained from collected amount in the passive sampler, corresponding air concentration measured by the four-stage filter pack method or the automatic measurement method and exposure period. Field monitoring was carried out at two urban sites, Osaka and Higashiosaka City, and at two suburban sites, Ikeda and Sakai City, by the passive sampling method in the monthly base. The concentration ( $\text{nmol}/\text{m}^3$ ) of  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_3$  and  $\text{NO}_2$  ranged 6 ~ 99, 15 ~ 104, 13 ~ 169, 459 ~ 2148 and 155 ~ 1963, respectively, during three fiscal years of 2003 and 2005. The concentrations of  $\text{HNO}_3$  and  $\text{HCl}$  showed an apparent seasonal trend with high concentration in summer and low in winter. The other gases did not show specific seasonal trends, although  $\text{NO}_2$  was somewhat high in winter.  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{SO}_2$  and  $\text{NO}_2$  concentrations were high in the urban site, while  $\text{O}_3$  concentration was high in the suburban site.

### はじめに

パッシブ簡易測定法は電源が不要で安価であることから、数多い地点で同時にその濃度分布を知りたい場合や自動測定機などのアクティブ法のデータを補完する目的で、また、発展途上国などでは経済的に有利な方法として関心を集めてきた。そこで、大気中のガス状汚染物質を簡便に測定する方法として、ガス捕集媒体をテフロンシートで包む極めて単純なパッシブ法(N式)<sup>1,2,3)</sup>が提案された。大阪府域の市町村環境部局参加による大阪府酸性雨調査連絡会(APS-N-Osaka)では本法を用いた乾性沈着調査が実施されている。さらに、都道府県及び政令都市の環境研究機関で組織する全国環境研協議会の第4次酸性雨全国調査<sup>4,5,6)</sup>でもフィルターパック法(4段ろ紙法)に加えて、N式パッシブ法による乾性沈着調査が取り入れられている。

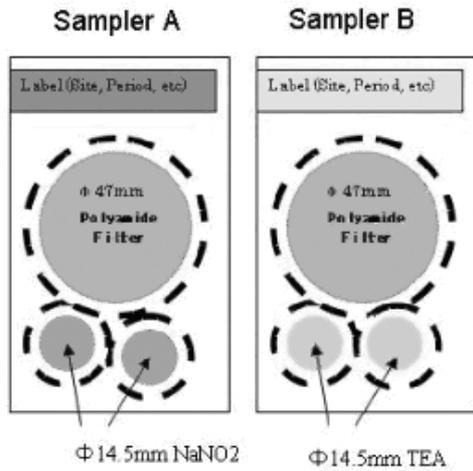
本報告では、硝酸( $\text{HNO}_3$ )、塩酸( $\text{HCl}$ )、二酸化硫黄( $\text{SO}_2$ )、オゾン( $\text{O}_3$ )、二酸化窒素( $\text{NO}_2$ )及びアンモニア( $\text{NH}_3$ )について、大阪府域で実施している季節

調査(11地点、6月と10月)および通年調査(4地点、毎月)の平成15年度から17年度の3年間の調査結果について報告する。

### 材料および方法

#### 1. パッシブサンプラーの作製

テフロンシート(400×1000mm、厚さ1mm、ADVANTECポリフロンフィルターPF100)を100×110mmの大きさに切り、長い方の辺を二つに折り、ガス捕集媒体をシートに挟み込みホッチキスで固定する。捕集媒体としてはポリアミドろ紙、( $\text{NaNO}_2+\text{K}_2\text{CO}_3$ )含浸ろ紙、トリエタノールアミン(TEA)含浸ろ紙、燐酸( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )含浸ろ紙を用いた。本調査で使用したサンプラー例を第1図に示すが、2タイプ(Sampler AとSampler B)のサンプラーを作製した。Sampler AとSampler Bを各1個使用すると、3種類(ポリアミド、( $\text{NaNO}_2+\text{K}_2\text{CO}_3$ )含浸、TEA含浸)のサンプラーが2セット分サンプリングすることになる。 $\text{NH}_3$ については



第1図 調査で用いたパッシブサンプラー例

平成17年度から実施しているが、別に 14.5mmH<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 含浸る紙2枚をPTFEろ紙に挟んで固定した。作製したサンプラーは個々にシール付きポリ袋に入れ、さらにアルミ蒸着袋に入れた上、サンプリングに使用する前およびサンプリング後は冷蔵庫に保管することとした。

2. パッシブサンプラーのサンプリング速度

対象ガス種の捕集量 (M) は捕集媒体の有効断面積 (A)、暴露期間 (t) および大気濃度 (C<sub>A</sub>) に比例するので、Mは次式で示される。

$$M = k \cdot A \cdot t \cdot C_A \text{ ----- (1)}$$

ここで比例定数 (k) はパッシブサンプラーの形状に依存するので当該パッシブ法のサンプリング速度に対応する。kの次元は、M、A、tおよびC<sub>A</sub>がそれぞれ[nmol]、[m<sup>2</sup>]、[day]および[nmol/m<sup>3</sup>]とすると、[m/day]で示される。kの値はパッシブ法と同期間、同地点で測定したフィルターパック法又は自動測定機で得られた大気濃度に基づいて次の式から計算する。

$$k[\text{m/day}] = M / (A \cdot t) / C_A \text{ ----- (2)}$$

さて、パッシブ法の大気濃度 (C<sub>P</sub>) は次式から計算出来る。

$$C_P[\text{nmol/m}^3] = M / (A \cdot t) / k \text{ ----- (3)}$$

つまり、C<sub>P</sub>は単位有効断面積および単位暴露期間当たりの捕集量 (nmol/m<sup>2</sup>/day) をサンプリング速度 (m/day) で割ることにより容易に計算出来る。全環研の東海・近畿・北陸支部の共同調査<sup>2)</sup>ではフィールドデータから

第2表 調査地点情報

地点	緯度	経度	属性	市町村名	暴露期間
A	34.972	135.414	田園	能瀬町	6月と10月
B	34.825	135.448	郊外	池田市	毎月
C	34.884	135.522	田園	茨木市	6月と10月
D	34.748	135.512	都市	吹田市	6月と10月
E	34.804	135.727	郊外	枚方市	6月と10月
F	34.667	135.640	都市	東大阪市	毎月
G	34.680	135.535	都市	大阪市	毎月
H	34.487	135.513	郊外	堺市	毎月
I	34.417	135.648	田園	千早赤坂村	6月と10月
J	34.372	135.448	田園	岸和田市	6月と10月
K	34.317	135.142	郊外	岬町	6月と10月

第3表 調査期間の月区切り

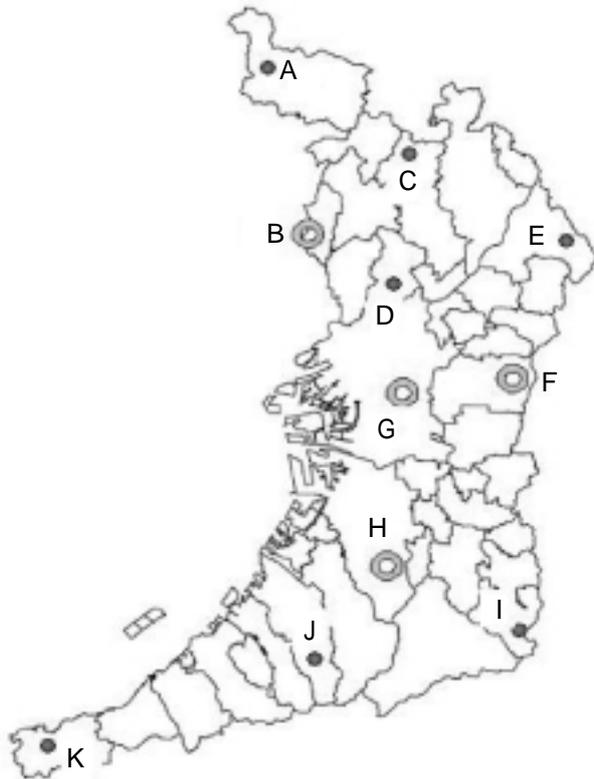
月	平成15年度(2003)		平成16年度(2004)		平成17年度(2005)	
	捕集期間	週	捕集期間	週	捕集期間	週
4月	3/31~4/28	4	3/29~4/26	4	3/28~5/2	5
5月	4/28~6/2	5	4/26~5/31	5	5/2~5/30	4
6月	6/2~6/30	4	5/31~6/28	4	5/30~6/27	4
7月	6/30~8/4	5	6/28~8/2	5	6/27~8/1	5
8月	8/4~9/1	4	8/2~8/30	4	8/1~8/29	4
9月	9/1~9/29	4	8/30~9/27	4	8/29~10/3	5
10月	9/29~11/4	5	9/27~11/1	5	10/3~10/31	4
11月	11/4~12/1	4	11/1~11/29	4	10/31~11/28	4
12月	12/1~1/5	5	11/29~12/27	4	11/28~12/26	4
1月	1/5~2/2	4	12/27~1/31	5	12/26~1/30	5
2月	2/2~3/1	4	1/31~2/28	4	1/30~2/27	4
3月	3/1~3/29	4	2/28~3/28	4	2/27~3/27	4

第1表 大気濃度換算に用いたサンプリング速度

対象ガス	サンプリング速度 (m/day)			捕集媒体
	夏季調査*	冬季調査*	採用速度 (平均)	
HNO <sub>3</sub>	241 ± 59(11)	185 ± 55(13)	213	Polyamideろ紙 Pall ULTIPORE N66( 47mm)
HCl	314 ± 115(11)	228 ± 200(13)	301	1%NaNO <sub>2</sub> , 1%K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> & 5% Glycerin 混合溶液を調製して セルロースろ紙に含浸 ADVANTEC 514A( 14.5mm)
SO <sub>2</sub>	333 ± 78(11)	362 ± 200(13)	348	
O <sub>3</sub>	195 ± 34(11)	167 ± 30(13)	181	
NH <sub>3</sub>	672 ± 78(4)	861 ± 173(5)	767	5%H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> & 2%Glycerin含浸ろ紙 ADVANTEC 514A( 14.5mm)
NO <sub>2</sub>	.....	.....	131**	15%TEA含浸ろ紙 ADVANTEC 514A( 14.5mm)

\*文献2) による全環研東海・近畿・北陸支部共同調査結果、( )内は調査参加機関数

\*\*文献4) による調査結果の平均値



第2図 調査地点の位置

(2)式を用いてサンプリング速度を計算した。第1表にその時の平均サンプリング速度を示すが、本報告ではこの値を用いて大気濃度換算することとした。

### 3. 調査地点および調査期間

サンプリングは大阪府域11地点で2003年4月から2006年3月に実施した。地点情報を第2表にその位置関係を第2図に示す。で示した4地点(池田市, 大阪市, 東大阪市, 堺市)は通年調査を, で示した7地点は季節調査を実施した。サンプリング期間は第3表に示した月区切りに従い4又は5週間単位の暴露捕集を行った。

### 4. アクティブサンプリング

パッシブ法と比較するために, G地点で4段ろ紙法によるサンプリングを行い $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{SO}_2$ および $\text{NH}_3$ の大気濃度を測定した。 $\text{O}_3$ と $\text{NO}_2$ については自動の常時監視データと比較することとした。

## 結果および考察

### 1. パッシブ法とアクティブ法の比較

4段ろ紙法で使われているポリアミドろ紙は $\text{HNO}_3$ 以外に一部 $\text{HCl}$ ,  $\text{SO}_2$ および $\text{NH}_3$ を捕獲する<sup>7)</sup>ことから, パッシブ法でも $\text{HNO}_3$ 以外に $\text{HCl}$ ,  $\text{SO}_2$ および $\text{NH}_3$ を捕集する。前報でパッシブ法におけるこれらのガスの累積捕集性は確認された<sup>1,2,3)</sup>, しかしながら $\text{HNO}_3$ 以外のガス

### 第4表 パッシブ法とアクティブ法の相関関係

測定ガス	回帰式	相関係数	個数
$\text{HNO}_3$	$Y=1.15X-0.5$	0.963	36
$\text{HCl}$	$Y=1.36X-3.0$	0.924	36
$\text{SO}_2$	$Y=1.28X+2.3$	0.974	36
$\text{O}_3$	$Y=0.98X+50$	0.909	36
$\text{NO}_2$	$Y=1.19X-410$	0.610	36
$\text{NH}_3$	$Y=0.63X+46$	0.835	12

Y: パッシブ法による大気濃度 (nmol/m<sup>3</sup>)

X: アクティブ法による大気濃度 (nmol/m<sup>3</sup>)

はパッシブ法と良好な相関が得られなかった<sup>4,5,6)</sup>ことからポリアミドパッシブ法では $\text{HNO}_3$ のみの測定に用いることとした。一方で, 亜硝酸イオンから硝酸イオンへの $\text{O}_3$ による酸化を利用した( $\text{NaNO}_2+\text{K}_2\text{CO}_3$ )含浸ろ紙パッシブサンプラーは $\text{K}_2\text{CO}_3$ が含まれているので $\text{O}_3$ の他に $\text{HCl}$ および $\text{SO}_2$ を捕集する。

フィールドでのアクティブ法による大気濃度とN式パッシブ法により得られた大気濃度を比較した。第4表にG地点で調査したパッシブ法(Y)とアクティブ法(X)による大気濃度の相関分析の結果を示す。 $\text{HNO}_3$ は傾きが1に近く相関係数も極めて良好であった。 $\text{HCl}$ および $\text{SO}_2$ については, ( $\text{NaNO}_2+\text{K}_2\text{CO}_3$ )サンプラーと比較したのであるがこれも良好な相関が得られた。 $\text{O}_3$ でも傾きが1に近く良好な相関関係が得られた。 $\text{H}_3\text{PO}_4$ サンプラーによる $\text{NH}_3$ では平成17年度からの測定であるため12個のデータセットしかありませんが, 傾きが0.6とパッシブ法が低めに見積もられている。このことはフィルターパック法が特に夏季にアーティファクトの影響<sup>6)</sup>を受け易いことが一つの原因では無いかと考えている。TEAサンプラーによる $\text{NO}_2$ では常時監視局データとの比較であるが相関係数が0.61と他のガスよりも劣っていた。いずれにしても,  $\text{HNO}_3$ の測定にはポリアミド,  $\text{O}_3$ ,  $\text{HCl}$ および $\text{SO}_2$ の測定には( $\text{NaNO}_2+\text{K}_2\text{CO}_3$ ),  $\text{NO}_2$ の測定にはTEA,  $\text{NH}_3$ の測定には $\text{H}_3\text{PO}_4$ サンプラーを使うこととしているが, なかでも,  $\text{HNO}_3$ と $\text{HCl}$ のパッシブサンプラーはこれまで無かったものであり貴重なデータを提供するものと考える。

### 2. 季節調査による大気濃度

第5表に大阪府域11地点で6月と10月に実施したN式パッシブ法による調査結果を示す。 $\text{HNO}_3$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{O}_3$ および $\text{NO}_2$ の3年間の平均濃度はそれぞれ, 6月で47nmol/m<sup>3</sup>, 67nmol/m<sup>3</sup>, 46nmol/m<sup>3</sup>, 1662nmol/m<sup>3</sup>および524nmol/m<sup>3</sup>, そして10月で12nmol/m<sup>3</sup>, 23nmol/m<sup>3</sup>, 28nmol/m<sup>3</sup>, 1318nmol/m<sup>3</sup>および529nmol/m<sup>3</sup>であった。 $\text{NH}_3$ は1年間の平均が6月と10月でそれぞれ84nmol/m<sup>3</sup>および94nmol/m<sup>3</sup>であった。これらのガス成分の濃度レベルは $\text{O}_3 > \text{NO}_2 > \text{NH}_3 > \text{SO}_2 > \text{HCl} > \text{HNO}_3$ の順であっ

第5表 大阪府域11地点における酸性ガス成分の6月と10月の測定結果

地点	6月(梅雨期)															
	HNO <sub>3</sub>			SO <sub>3</sub>			HCl			O <sub>3</sub>			NO <sub>2</sub>			NH <sub>3</sub>
	'03	'04	'05	'03	'04	'05	'03	'04	'05	'03	'04	'05	'03	'04	'05	'05
A	14	19	22	28	24	36	20	28	30	1505	1488	1734	436	322	206	65
B	46	57	69	72	68	78	53	76	65	1649	1729	2148	891	550	358	59
C	27	34	51	35	40	49	23	29	38	1892	1399	2277	429	377	162	31
D	41	62	67	102	107	102	35	44	48	1317	1342	1939	1554	828	494	123
E	39	54	63	43	43	59	31	36	46	1406	1151	1744	391	258	151	92
F	53	61	77	85	82	88	65	78	81	1658	1451	1855	1123	714	421	128
G	67	73	96	137	132	143	59	67	69	1244	1176	1959	1463	1076	578	156
H	41	50	68	63	—	—	69	—	—	1442	—	—	815	502	364	106
I	23	30	44	22	21	29	31	30	36	1904	1518	2333	176	172	152	52
J	17	21	36	18	21	27	25	19	26	1659	1355	2258	196	203	151	29
K	35	44	—	118	141	—	40	70	—	1573	1295	—	802	661	—	—
最低	14	19	22	18	21	27	20	19	26	1244	1151	1734	176	172	151	29
最高	67	73	96	137	140	143	69	78	81	1904	1729	2333	1554	1076	578	156
平均	37	46	59	66	68	68	41	48	49	1568	1390	2027	752	515	304	84
地点	10月(秋期)															
	HNO <sub>3</sub>			SO <sub>3</sub>			HCl			O <sub>3</sub>			NO <sub>2</sub>			NH <sub>3</sub>
	'03	'04	'05	'03	'04	'05	'03	'04	'05	'03	'04	'05	'03	'04	'05	'05
A	4	5	4	9	13	6	11	15	14	1130	1592	1573	346	302	226	80
B	18	13	11	24	23	13	37	33	26	1317	1706	1571	608	440	352	64
C	10	8	9	25	27	16	23	26	20	1669	1773	1990	227	169	156	31
D	12	9	10	41	24	24	21	16	19	734	833	1005	1079	1153	875	137
E	15	13	15	25	14	10	33	25	27	809	1216	1139	192	156	282	87
F	19	17	15	32	31	20	55	35	32	1048	1299	1124	934	863	629	165
G	24	23	19	68	52	45	44	41	39	689	1019	963	1366	1506	968	245
H	17	17	16	24	21	19	31	39	31	980	1371	1116	597	728	519	87
I	9	7	7	14	11	8	34	25	25	1671	1872	1724	221	196	167	31
J	6	5	4	11	6	7	14	8	7	1380	1635	1495	235	250	221	17
K	14	11	—	51	42	—	53	41	—	1213	1476	—	632	429	—	—
最低	4	5	4	9	6	6	11	8	7	689	833	963	192	156	156	17
最高	24	23	19	68	52	45	55	41	39	1671	1872	1990	1366	1506	968	245
平均	13	11	11	29	24	17	32	28	24	1149	1436	1370	585	563	439	94

各値は2組の測定値の平均を示している。(n mol/m<sup>3</sup>). -- : 欠測

た、また、HNO<sub>3</sub>、SO<sub>2</sub>およびHClでは6月の方が10月よりも著しく高かった。

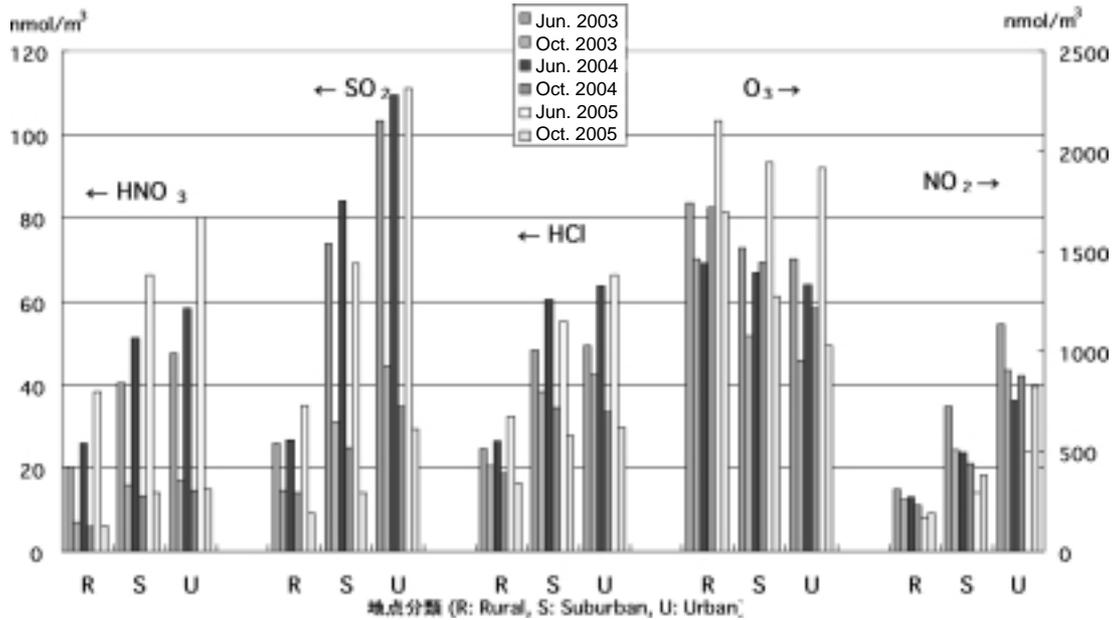
調査地点を第2表で分類したように4ヶ所の田園(R)、4ヶ所の郊外(S)そして3ヶ所の都市(U)の3属性に分けて解析した。第3図にその属性ごとの平均濃度を示したが、HNO<sub>3</sub>、SO<sub>2</sub>、HClおよびNO<sub>2</sub>ではU>S>Rの順、一方O<sub>3</sub>は逆でR>S>Uの順であった。これは都市域で特に多い他の大気汚染物質がO<sub>3</sub>を消費するためではないかと考えられた。各属性において、HNO<sub>3</sub>、SO<sub>2</sub>およびHClは初夏の6月の方が秋の10月よりも濃度が高かった、一方O<sub>3</sub>とNO<sub>2</sub>はそのような傾向を示さなかった。

### 3. 通年調査による大気濃度

年間を通じて調査を実施しているB、F、G、およびHの4地点について、平成15~17年度の3年間に調査結果を

第6表に示す。HNO<sub>3</sub>、HCl、SO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>およびNO<sub>2</sub>の濃度レベルはそれぞれ5.8~99(平均: 31nmol/m<sup>3</sup>)、15~104(同: 45nmol/m<sup>3</sup>)、13~169(同: 68nmol/m<sup>3</sup>)、459~2148(同: 1177nmol/m<sup>3</sup>)および155~1963(同: 715nmol/m<sup>3</sup>)であった。4地点のSO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>とHNO<sub>3</sub>の濃度はG>F>H、Bの順であり、O<sub>3</sub>はその逆の順、そしてHClではその差は小さかった。

HNO<sub>3</sub>、HCl、SO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>およびNO<sub>2</sub>についての月変動を第4図に示す。HNO<sub>3</sub>およびHClの濃度トレンドは明らかに夏に高く冬に低いという季節変動を示した。これは夏季の高温と強い日差しによりNO<sub>x</sub>がHNO<sub>3</sub>に化学変化し易いことや浮遊粉塵中の硝酸塩や塩酸塩がガス化し易いことなどが考えられた。SO<sub>2</sub>については10月に濃度が低い傾向があった。O<sub>3</sub>は春先にやや高い傾向を示し、

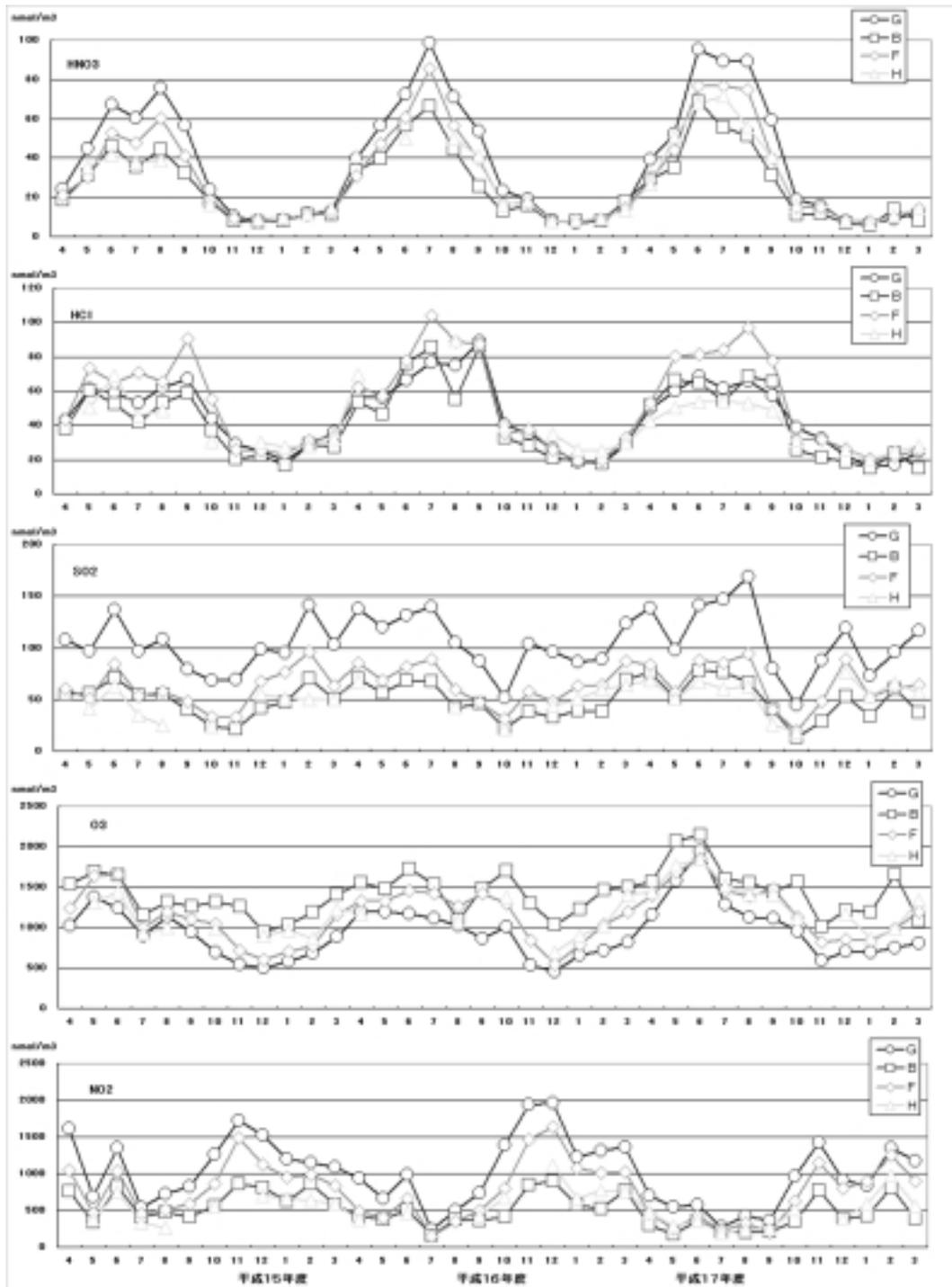


第3図 属性別の平均大気濃度 (R: 田園 S: 郊外 U: 都市)

第6表 大阪府域4地点における酸性ガスの通年測定結果

期間	B地点						F地点						G地点						H地点						
	HNO <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	HCl	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	HNO <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	HCl	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	HNO <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	HCl	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	HNO <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	HCl	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	
'03-'05																									
4月	19	55	38	1539	762	-	21	60	43	1234	1054	-	24	108	43	1018	1614	-	-	-	-	-	-	-	
5月	31	56	61	1693	340	-	30	51	73	1639	463	-	45	97	61	1371	691	-	35	41	50	1309	381	-	
6月	46	72	53	1649	823	-	53	85	65	1658	1037	-	67	137	59	1244	1351	-	41	63	69	1442	753	-	
7月	35	54	42	1163	409	-	48	53	71	1002	455	-	60	97	53	896	535	-	38	35	46	918	343	-	
8月	45	55	53	1319	477	-	60	58	65	1192	518	-	76	108	62	1131	722	-	39	25	49	1001	258	-	
9月	32	40	59	1264	408	-	41	48	91	1104	586	-	56	79	67	947	824	-	-	-	-	-	-	-	
10月	18	24	37	1317	561	-	19	32	55	1048	863	-	24	68	44	689	1262	-	17	24	31	980	551	-	
11月	8	22	20	1265	863	-	9	33	25	719	1490	-	10	69	29	550	1722	-	-	-	-	-	-	-	
12月	8	41	22	957	812	-	7	68	25	602	1124	-	8	99	25	505	1520	-	9	55	30	896	695	-	
1月	8	47	16	1029	621	-	9	76	24	703	955	-	8	95	20	575	1198	-	10	52	27	960	667	-	
2月	11	70	26	1197	861	-	11	96	31	774	993	-	12	141	29	681	1153	-	12	49	28	862	638	-	
3月	11	51	27	1406	577	-	12	63	34	1163	834	-	13	103	36	882	1082	-	14	49	32	1232	590	-	
4月	33	70	54	1552	421	-	31	85	62	1335	488	-	40	138	56	1194	939	-	41	68	70	1176	379	-	
5月	40	56	46	1474	381	-	47	68	57	1332	401	-	57	120	56	1192	660	-	-	-	-	-	-	-	
6月	57	68	76	1729	508	-	61	82	78	1451	659	-	72	131	66	1168	987	-	50	-	-	-	464	-	
7月	66	67	86	1532	157	-	86	89	104	1425	155	-	99	139	77	1115	236	-	-	-	-	-	-	-	
8月	44	41	55	1093	369	-	56	59	89	1257	349	-	71	105	75	1024	496	-	50	42	90	1085	-	-	
9月	26	46	86	1488	364	-	39	47	87	1416	502	-	54	87	89	866	740	-	41	-	-	-	431	-	
10月	13	23	33	1706	407	-	17	31	35	1299	797	-	23	52	40	1016	1386	-	17	21	39	1371	672	-	
11月	16	38	28	1290	845	-	17	57	37	840	1458	-	19	104	35	535	1943	-	18	-	-	-	-	-	
12月	7	33	21	1034	901	-	8	48	25	547	1636	-	8	96	26	459	1963	-	8	44	35	690	1108	-	
1月	8	39	19	1229	577	-	7	63	19	780	1079	-	7	86	19	664	1220	-	9	50	26	897	657	-	
2月	8	38	18	1466	519	-	8	64	20	1033	1008	-	8	89	18	714	1315	-	9	60	25	1021	776	-	
3月	18	69	29	1501	781	-	14	87	33	1195	1021	-	15	124	30	819	1368	-	14	64	29	1405	757	-	
4月	29	77	52	1566	296	62	29	83	53	1392	468	158	39	139	50	1155	706	178	27	69	42	1444	470	100	
5月	35	51	66	2064	177	54	44	56	80	1678	246	129	52	97	60	1577	554	154	51	51	50	1772	288	101	
6月	69	78	65	2148	358	59	77	88	81	1856	421	129	95	142	69	1946	574	155	68	68	54	1844	364	107	
7月	56	76	54	1607	209	91	77	86	84	1450	227	217	89	147	62	1285	272	213	71	61	54	1518	184	127	
8月	51	67	69	1555	204	104	75	94	97	1387	320	231	89	169	66	1130	419	230	55	62	53	1410	234	146	
9月	31	40	66	1444	211	79	40	40	78	1481	203	176	60	80	57	1118	359	189	41	26	49	1407	252	116	
10月	11	13	26	1571	352	64	15	20	32	1124	629	165	19	44	38	956	960	243	16	19	31	1116	518	87	
11月	12	28	22	1011	772	82	15	48	32	821	1156	196	16	88	32	593	1425	250	-	-	-	-	-	75	
12月	7	53	19	1213	392	48	8	89	26	853	804	128	8	119	22	703	916	152	8	76	26	1172	389	51	
1月	6	33	15	1197	429	38	8	53	20	846	897	119	7	73	16	688	837	141	6	53	20	858	582	60	
2月	14	60	23	1657	810	58	10	61	22	984	1246	111	9	96	17	748	1355	163	11	65	25	984	978	88	
3月	8	37	15	1085	387	24	15	64	26	1199	905	93	12	116	24	807	1171	131	15	57	28	1336	560	67	
最低	6	13	15	957	157	24	7	20	19	547	155	93	7	44	16	459	236	131	6	19	20	690	184	51	
最高	69	78	86	2148	901	104	86	96	104	1856	1636	231	99	169	89	1946	1963	250	71	76	90	1844	1108	146	
平均	26	50	42	1417	509	64	31	64	52	1162	762	154	38	105	45	943	1013	183	28	50	41	1189	533	94	

各値は2組の測定値の平均を示している。(nmol/m<sup>3</sup>)。 - : 欠測



第4図 HNO<sub>3</sub>、HCl、SO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>、NO<sub>2</sub>の経月濃度変化

NO<sub>2</sub>はやや冬に高かったがHNO<sub>3</sub>やHClのように明瞭な季節変動は示さなかった。なお、HNO<sub>3</sub>、HCl、SO<sub>2</sub>およびNO<sub>2</sub>の濃度は都市部の地点GとRで高かったが、O<sub>3</sub>の濃度は郊外部である地点BとHで高かった。

#### ・ 摘要

提案したパッシブ法はHNO<sub>3</sub>、SO<sub>2</sub>、HCl、O<sub>3</sub>および

NO<sub>2</sub>などのガス成分のフィールドモニタリングを行うのに簡便であった。特にポリアミドろ紙をパッシブ法に適用した例は始めてであり、HNO<sub>3</sub>の測定に極めて有用であり、4段ろ紙法で測定したHNO<sub>3</sub>濃度ともよく一致していた。

平成15～17年度の3年間の調査では、ガス成分の濃度レベルはO<sub>3</sub> > NO<sub>2</sub> > SO<sub>2</sub> > HCl > HNO<sub>3</sub>の順で、その平均濃度はそれぞれ1177nmol/m<sup>3</sup>、715nmol/m<sup>3</sup>、68nmol/m<sup>3</sup>、

45nmol/m<sup>3</sup>および31nmol/m<sup>3</sup>であった。HNO<sub>3</sub>とHCl濃度は明らかに夏に高く冬に低いという季節変動を示した。他のガス成分についてはO<sub>3</sub>で春先にやや高く、NO<sub>2</sub>でやや冬に高いということを除き明確な季節変動を示さなかった。6月と10月に大阪府域11地点で実施した季節調査では、各地点を田園(R)、郊外(S)、都市(U)の3属性に分類して濃度レベルをみたところ、HNO<sub>3</sub>、SO<sub>2</sub>、HClとNO<sub>2</sub>ではU>S>Rの順、O<sub>3</sub>では逆の順であった。

### ．謝 辞

本調査研究を実施するにあたり、パッシブサンプラーのサンプリングおよび運搬等にご協力を頂いた大阪府域市町村の環境部門の担当者に深謝する。

なお、本報告は平成17年11月23日～26日に韓国の済州島で開催された第11回大気中での地域沈着過程に係わる国際共同セミナー(11th International Joint Seminar on Regional Deposition Processes in the Atmosphere, RDPA 2005)および平成18年2月22日～23日に開催された第21回全国環境研究所交流シンポジウム(国立環境研究所、つくば市)でも一部口頭発表した。

### ．引用文献

- 1) 西川嘉範・田口圭介・井上香織・吉村健一郎(2000)．大気中ガス成分のパッシブ簡易測定法の検討．環境化学10(2)：281-289
- 2) 全環研東海・近畿・北陸支部(2004)．パッシブ簡易測定法の実用化検討 - 全環研東海・近畿・北陸支部共同調査研究(酸性雨) - ．全環研会誌．29(1)：25-35
- 3) Yoshinori NISHIKAWA (2004)： Simultaneous Measurement of Nitric Acid, Sulfur Dioxide and Ammonia in Air using a Passive Sampling Polyamide Filter, *J. Environ. Chem.* 14(2)：351-355
- 4) 全環研酸性雨調査研究部会(2005)．第4次酸性雨全国調査報告書(平成15年度)．全環研会誌．30(2)：58-135
- 5) 全環研酸性雨調査研究部会(2006)．第4次酸性雨全国調査報告書(平成16年度)．全環研会誌．31(3)：118-186
- 6) 全環研酸性雨調査研究部会(2007)．第4次酸性雨全国調査報告書(平成17年度)．全環研会誌．32(3)：78-152
- 7) D. Karakas and S.G. Tuncel (1997), Optimization and field application of a filter pack system for the simultaneous sampling of atmospheric HNO<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub> and SO<sub>2</sub>, *Atmospheric Environment* 31(11)：1657-1666

## 大阪 - 都市域におけるガス状亜硝酸の挙動

岡 憲司

### Measurement of Gaseous Nitrous Acid at Osaka Urban Site

Kenji OKA

#### Summary

Measurements of 2 hour concentration of nitrous acid gas (HONO) have been performed by means of a developed differential high speed bubbling to the Sulfanilamide/HCl solution during five days each month, from October 2003 to September 2004 at Osaka urban site. The concentrations of HONO exhibit obviously diurnal variation with a midnight maximum, a day-time minimum and a temporary moderate peak in morning and evening. The highest HONO concentration was observed up to  $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (7ppb) during 21:30~23:30 19 February 2004. Geometrical average concentrations of HONO during the period were 1.6ppb (night time) and 1.1ppd (day time). HONO and NO<sub>x</sub> or CO concentrations showed a significant positive correlation in night ( $r=0.85$  or  $0.83$ , respectively). And the correlation between HONO and NO<sub>2</sub> are slightly worse than the case of NO ( $r=0.71$  and  $0.81$ , respectively). The strong correlations were obtained between the night-time HONO concentrations and the products of NO, NO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O vapor concentration at high NO/NO<sub>x</sub>. These suggest that reaction,  $\text{NO} + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HONO}$ , is a major formation reaction of nitrous acid in urban air

#### はじめに

亜硝酸は希薄な溶液状態でのみ存在し、弱酸性 ( $\text{pK}_a = 3.35$ ) で、酸化、還元の両作用を示す化合物として知られている。ガス状亜硝酸は亜硝酸ガスと呼ばれる場合も多いが、農学や生物学の分野では一酸化窒素や二酸化窒素を亜硝酸ガスと呼んでいる報告も多いので、混同を避けるため、本報ではガス状亜硝酸の名称を用いた。

環境大気中におけるガス状亜硝酸の存在は、差分光吸収スペクトル法 (DOAS法) により確認されている<sup>1)</sup>、測定法の開発が進められ、ようやくその濃度や挙動等が明らかにされつつある。

大気中のガス状亜硝酸は太陽光により容易に光分解されるため、大気汚染物質としては当初注目されなかった。しかし、その光分解によりOHラジカルが生成され、それがオゾンやアルデヒド、PAN等の有害成分を生成する事から、光化学スモッグ反応を解明するための重要な成分として注目されてきた<sup>2)</sup>。



例えばAlicke<sup>3)</sup>は早朝のOHラジカルのほとんど、日中でもその30%がガス状亜硝酸に由来するとし、Harris<sup>2)</sup>はガス状亜硝酸の存在によってオゾンドーゼの44%増

加をモデル計算によって示し、Jenkinら<sup>4)</sup>は早朝、1ppbの亜硝酸ガスによって、オゾン日最高濃度が14%高まったと報告している。

また、ガス状亜硝酸は他の窒素酸化物測定に干渉し、測定結果に誤差を与える場合がある。例えば環境大気中の二酸化窒素はJIS法であるザルツマン吸光度法やオゾン酸化ケミルミ法によって常時監視測定され、またトリエタノールアミンを用いる種々のパッシブ捕集法による測定も汎用されているが、これらの方法はいずれもガス状亜硝酸も同時に測定する方法であり、ガス状亜硝酸/二酸化窒素濃度比が高い場合には不正確な測定結果となる。

二酸化窒素の有害性は暴露実験や疫学調査によって明らかにされ、環境基準も設定されているが、過去の二酸化窒素による健康影響調査や植物等への生態影響調査等はガス状亜硝酸も含めて測定された結果であり、二酸化窒素のみの影響を示すものではない。たとえば、二酸化窒素の健康影響疫学調査では、濃度と発症との関係は必ずしも一致していない。これには喫煙、調理コンロや石油ストーブ等からの発生による屋内二酸化窒素濃度の影響や浮遊粉塵の影響等が指摘されているが、ガス状亜硝酸による二酸化窒素濃度測定値の不正確さもその一因で

あろう。二酸化窒素の水への溶解度はそのヘンリー定数が $0.01\text{mol/L}\cdot\text{atm}$ と低いのにに対し、ガス状亜硝酸のそれは $48.6\text{mol/L}\cdot\text{atm}$ と非常に高いから、同濃度であれば一千倍以上の健康影響を及ぼす可能性がある。さらに二酸化窒素による健康影響の一部はそのオキシダント性に由来するから、同様な酸化性を有するガス状亜硝酸による健康影響も危惧される。また、亜硝酸は食肉中の第4級アミンと反応して、発がん性のニトロソアミンを生成するが、大気中での同様な反応<sup>5)6)</sup>も報告されている。ガス状亜硝酸による健康影響は実験的にも、 $395\text{ppb}$ のガス状亜硝酸の3.5時間暴露により健康な成人の粘膜に炎症<sup>7)</sup>、 $650\text{ppb}$ のガス状亜硝酸を3時間暴露した喘息患者に中程度の肺機能低下や肺炎症状<sup>8)</sup>が報告されている。また、一般家庭の屋内外においてガス状亜硝酸を炭酸ナトリウム含浸ろ紙にパッシブ捕集測定し、呼吸器疾患との関係を調査した結果では、ぜい鳴などの呼吸器症状との有意の関係は認められなかったが、肺機能低下を認めている<sup>9)</sup>。しかし、その関係は不明瞭とする報告<sup>10)</sup>もある。環境濃度のガス状亜硝酸による健康影響評価がこのように異なった結果となったのは、使用した測定法である炭酸ナトリウム含浸ろ紙法が二酸化窒素の一部も捕集し、ガス状亜硝酸のみを測定する方法ではない事そのひとつの理由であろう。

また、PM<sub>2.5</sub>や酸性雨、光化学スモッグ等の調査には、ガス状硝酸の測定が不可欠であり、そのハンディな方法としてポリアミドフィルター捕集法が広く用いられている。しかし、ポリアミドフィルターはガス状亜硝酸も一部捕集<sup>11)12)</sup>するから、硝酸ガス濃度を実際より高く示す場合がある。

ガス状亜硝酸の発生源としてはディーゼル車<sup>13)</sup>やガソリン車<sup>14)15)</sup>、屋内でのストーブ<sup>16)</sup>、台所コンロ<sup>17)</sup>等からの一次発生も報告されているが、大気におけるガス状亜硝酸の測定濃度を説明するには不十分であり、大気中の二次生成が主な発生源と考えられているが、その過程はなお十分明らかにされていない。

このように窒素酸化物測定や健康影響、光化学スモッグやP.M<sub>2.5</sub>、酸性雨等にも関連する重要な成分であるガス状亜硝酸の大気中での挙動を長期間継続的に調査した報告はほとんどない。本報では2時間サンプリングを連続24時間、毎月5日間ずつ1年間、行い、都市大気中における濃度レベルや径時変動、月変動、他成分との相関等の挙動を解明し、興味ある結果を得たので報告する。

## ．調査方法

### 1．捕集、分析

スルファニルアミド高速バブリング捕集法<sup>18)</sup>によった。吸収液：1%スルファニルアミド/3.6%塩酸  
バブラー：全容積200mL、全高25cm、上部は7cm径の球状で、内部にアーチ状にたわませたテフロン板を装着した。バブリング部の管径2.6cm、管長17cm、ノズル径0.6cmであり、天満理化製を改造した。装着したテフロン板は高速バブリングによって跳ね上がってくる吸収液を遮って還流させるためである。

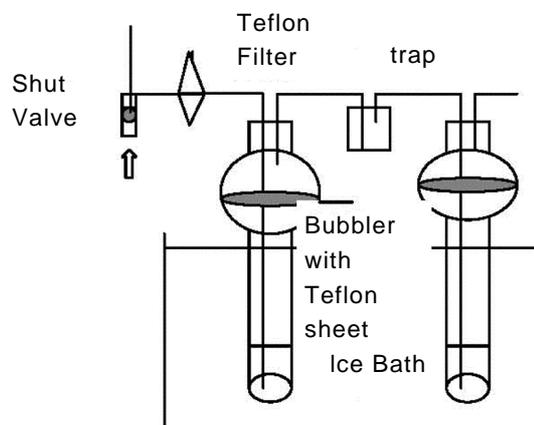


Fig.1 Schematic diagram for the sampling of ambient HONO. Absorbing solution:1% Sulfanil Amide/3.6% HCL, 20mL. Air sampling rate:20 L/min.

用いたサンプリング系をFig.1に示した。前段のテフロンフィルター（住友電工、フロロポアAF07P）によって粉じん除去後、吸収液20mLを入れたバブラー2段に大気を20L/分で各々2時間捕集した。なお、バブラーは氷水浴に浸し、サンプリング中の吸収液の蒸発を抑制した。なお、サンプリングはタイマーによる連続自動サンプリングであり、各サンプリング入口部には開閉弁を装着した。

サンプリング終了後、吸収液量を（サンプリング後のバブラー+吸収液の重量）-空バブラー重量より求めた。本サンプリング条件では最大5mLの吸収液減量があったが、夏期には大気中水分の凝縮捕集があり、最大20mLの増量があった。その吸収液8mLを分取し、1%スルファニルアミド/10%塩酸1mLを加え、5分放置後、0.1%ナフチルエチレンジアミン塩酸塩1mLを加え、540nmにおける吸光度を測定した。本法における亜硝酸ガス捕集率は95%、二酸化窒素捕集率は0.4%であった

から<sup>18)</sup>，2 段目バブラー検出NO<sub>2</sub><sup>-</sup>量は二酸化窒素やPAN等による干渉量を示すものと考えられ，それを1 段目バブラー検出NO<sub>2</sub><sup>-</sup>量より差し引く差分法により，二酸化窒素やPAN等による干渉を補正した．なお，本調査における2 段目バブラー検出NO<sub>2</sub><sup>-</sup>量は1 段目のその約2割あった．

2. 調査地点，期間

試料の採取は2003年10月より2004年9月まで，2 時間サンプリングを24時間連続で，各月5 日間ずつ府環境情報センター屋上（当時，大阪市東成区中道1-3-62）で行った．当センター付近には交通量の多い阪神高速道路等が2 本走っており，金属加工や印刷等の小工場が散在する準工業地区である．また，北方1 kmには大規模なごみ焼却場があり，北西200mには大阪城公園（107ha）が広がっている．

結果および考察

測定結果を付表に示した．なお，ガス状亜硝酸以外の大気汚染ガスと気象のデータは当センター常時監視測定データである．

1. 濃度

測定されたガス状亜硝酸濃度を夜間と日中にわけて，その濃度頻度分布をFig. 2，Fig. 3 に，また，主要な大気汚染物質の平均濃度もTable 1に示した．なお，9月～3月は5:30～17:30，4月～8月は5:30～19:30を日中とし，他の時間を夜間とした．

ガス状亜硝酸は夜間，日中いずれも0.5～1.0ppbに最多分布を有する対数正規分布を示し，多くの大気汚染物質について報告されているのと同様な分布を示した．

その幾何平均濃度は夜間1.2ppb（算術平均1.6±1.2ppb，最高7.5ppb），日中0.9ppb（同 1.1±0.9ppb，最高6.3ppb）であり，夜間高濃度，日中低濃度を示したが，その差は著しく大きいものではない．ガス状亜硝酸は容易に光分解されるから，その日中濃度はほぼゼロと予想されたが，ガス状亜硝酸の光分解によるライフタイムは典型的な日中においては約15分<sup>19)</sup>とされており，一方OHラジカル濃度が高い日中においては，



による亜硝酸生成も大きいからであろう．また，次項に示すように早朝に濃度の高まりが見られるが，日の出時の試料を日中に含めたのも，昼夜の差を小さく見せている．

1979年に大気中におけるガス状亜硝酸が検出<sup>1)</sup>されて以来，短期間調査における大気中濃度はかなり報告されている．例えばLammelら<sup>20)</sup>は汚染の激しい都市の夜間

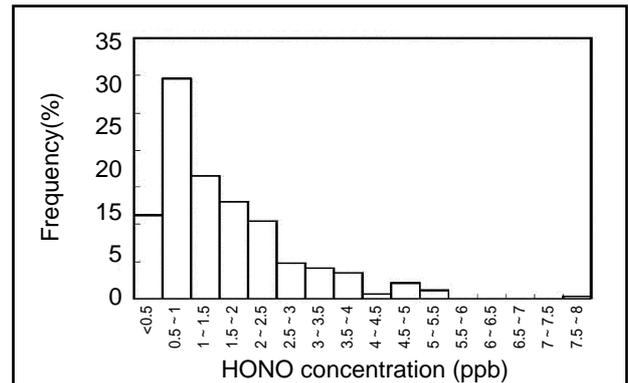


Fig.2 Frequency distribution of atmospheric HONO at Osaka during night

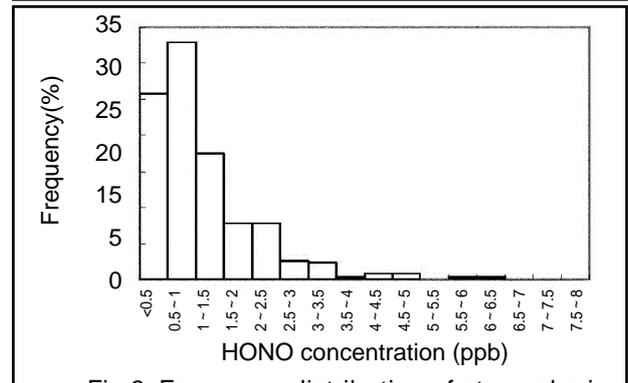
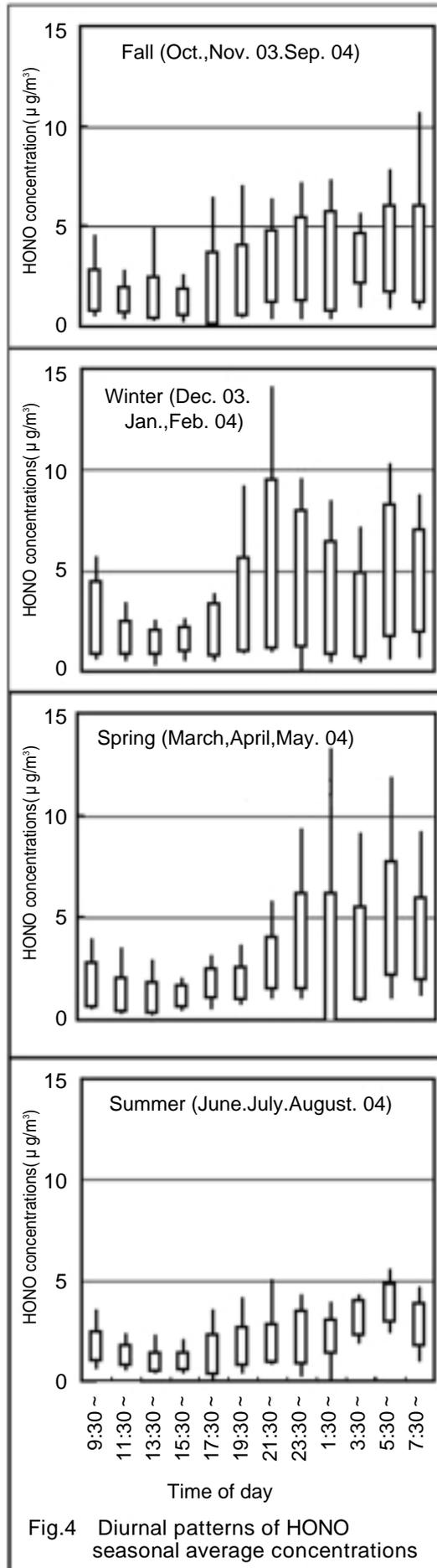


Fig.3 Frequency distribution of atmospheric HONO at Osaka during daytime

Table 1 Mean air concentrations during the study

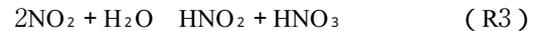
	day time	night time
HONO (ppb)	1.1 ± 0.9	1.6 ± 1.2
NO (ppb)	20 ± 31	21 ± 36
NO <sub>2</sub> (ppb)	33 ± 13	34 ± 15
CO (ppm)	0.6 ± 0.3	0.7 ± 0.4
SPM (μg/m <sup>3</sup> )	32 ± 20	34 ± 22

大気中で1～15ppb，小都市の夜間で約1ppbとレビューしている．最近では瞬間値測定法も各種開発され，それぞれの方法によりニュージーランドのクリストチャーチで0.05～2.9ppb（NO<sub>2</sub>は5～30ppb）<sup>21)</sup>，堺市0.1～1.7ppb<sup>22)</sup>，また清浄な環境と思われるニューヨーク，ホワイトフェース山頂で0.01～0.04ppb（NO<sub>x</sub>は0.01～0.3ppb）<sup>23)</sup>，ドイツのメルピッツで0.05～0.3ppb（NO<sub>2</sub>は1～7ppb）<sup>24)</sup>が報告されている．さらに国内ではデニューダー法によって奈良市<sup>25)</sup>で0.8～2.6 μg/m<sup>3</sup>（～1.4ppb），札幌市<sup>26)</sup>で20～100nmol/m<sup>3</sup>（～2.2ppb）が報告されている．これらの測定例に比較して，本センターにおけるガス状亜硝酸濃度はかなり高い汚染状況に位置している．



## 2. 時間変動

季節ごとの時間別平均濃度変動をFig. 4に示した。図中、白箱は平均濃度±標準偏差範囲を示し、上下への飛び出し線は最大値と最小値を示す。各季節とも、ガス状亜硝酸は朝から白昼にかけて濃度が低下していき、その後、夕刻より濃度が上昇しだして、深夜24時ごろに最高濃度に至った後、早朝に再び、濃度上昇するパターンが見られた。また、冬に高濃度、夏に低濃度となる季節変化を示した。日中濃度は各季節ほぼ同レベルの低濃度であるが、夜間濃度は冬季に特に高く、夏季に低い。ガス状亜硝酸の日中の低濃度は前述したようにガス状亜硝酸の光分解によるものである。夜間の高濃度は大気中で反応R2またはR3により、



窒素酸化物と水から二次的に生成された<sup>27)</sup>ものと推定され、さらに冬季には大気逆転層が形成されやすく、拡散が妨げられて滞留時間が長くなり、高濃度が出現したのであろう。

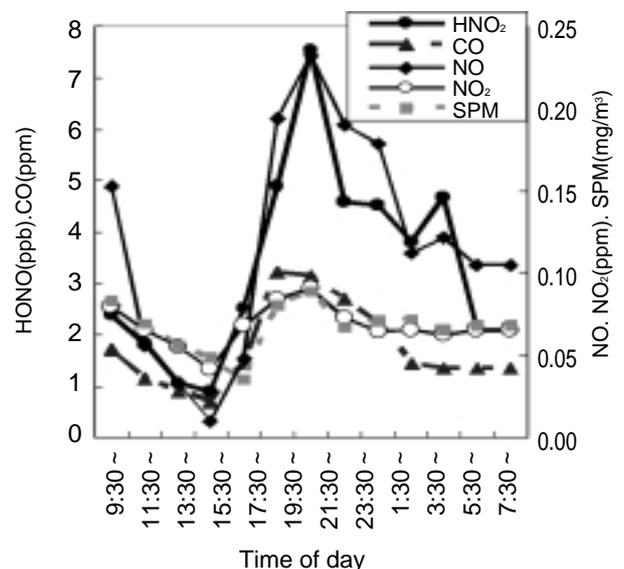
## 3. 主要な大気汚染物質との関係

### 1) 最高濃度出現日のケーススタディ

調査期間中でガス状亜硝酸が最高濃度を記録した2004年2月19~20日を一例として、幾つかの大気汚染物質の時間変動との関係をFig. 5に示した。

この日は西南西、2mの風であったのが、夕刻より南東寄り、1mの風になり、翌早朝には北寄りの風に変わった。

ガス状亜硝酸は一酸化窒素(NO)や二酸化窒素(NO<sub>2</sub>)、一酸化炭素(CO)、浮遊粒子状物質(SPM)濃度とほぼ同様な濃度変動を示し、朝から昼にかけて濃度低下して



いき、夕刻から濃度上昇、そしてガス状亜硝酸が最高濃度(7.5ppb)を示した時に、他の大気汚染物質も最高濃度(NO:232ppb, NO<sub>2</sub>:91ppb, CO:3.2ppm, SPM:89 μg/m<sup>3</sup>)を示した。特にNOは著しい高濃度を示し、ガス状亜硝酸とよく一致した変動パターンを示した。都市大気中におけるNOやNO<sub>2</sub>, CO, さらに SPMの主発生源は自動車排気であるが、ガス状亜硝酸の挙動がそれらとよく一致したことは、その主発生源も自動車(一次発生と二次生成)と推定させる。

2) ガス状亜硝酸との相関

年間データを日中と夜間にわけて、ガス状亜硝酸と大気汚染物質との相関係数をTable 2に、また夜間におけるガス状亜硝酸と窒素酸化物濃度の散布図をFig. 6に示した。夜間におけるガス状亜硝酸は自動車が主汚染源と考えられているNO, NO<sub>x</sub>, COとは良い相関を示したが、

Table 2 Correlation Coefficients (n = 350)

	HONO		HONO/NO <sub>x</sub>	
	day	night	day	night
NO	0.68	0.81	-0.06	-0.19
NO <sub>2</sub>	0.58	0.71	-0.10	-0.21
NO <sub>x</sub>	0.71	0.85	-0.08	-0.22
CO	0.70	0.83	-0.04	-0.15
Ox	-0.54	-0.43	-0.35	-0.07
SPM	0.43	0.48	0.18	0.20

NO<sub>2</sub>との相関係数はやや低かった。また、日中におけるそれぞれの相関係数は夜間よりいずれも約0.1低下した。これはガス状亜硝酸が光分解されやすいためと推定されるが、なお、中程度の相関を維持しており、自動車等の一次発生源の関与の強さを示した。また、ガス状亜硝酸はSPMとも中程度の相関を示し、ガス状亜硝酸が粒子表面における不均一相反応R<sub>2</sub>またはR<sub>3</sub>によって生成されるのを示している。ガス状亜硝酸の窒素酸化物濃度比(転換率)はSPMとの相関係数が0.2と低いものの、危険率0.1%でも無相関といえず、SPM濃度が高いほど、NO<sub>x</sub> ガス状亜硝酸への転換が進んでいることを示した。また、この転換率はNO, NO<sub>2</sub>, COとはそれぞれ弱い逆相関を示した。Parkら<sup>28)</sup>は韓国Kwangju市の調査において、この転換率とPM2.5 濃度の変動(数時間単位)との間に良く似た変動パターンを認めている。

以下、ガス状亜硝酸の光分解が無視できる夜間データについてその挙動を検討した。

夜間におけるガス状亜硝酸とNOとの相関をFig. 6(左)に示した。ガス状亜硝酸はNOと相関係数0.81の非常に強い相関を示し、NOと同一発生源あるいはNOも加わったR<sub>2</sub>反応によって生成されると推定された。しかし、NOがゼロであってもガス状亜硝酸は高濃度(1~3ppb)を示す場合も多く、NOが0.02ppm以下でのガス状亜硝酸との相関は全く認められないから、NOを必要としないNO<sub>2</sub>の水和反応(R<sub>3</sub>反応)による生成も否定できない。一方、ガス状亜硝酸はNO<sub>2</sub>ともFig. 6(中)に示すように、相関係数0.71の良い相関を示し、R<sub>3</sub>反応によるガス状亜硝酸生成を示唆した。しかし、ガス状亜硝酸はNO<sub>2</sub>の平

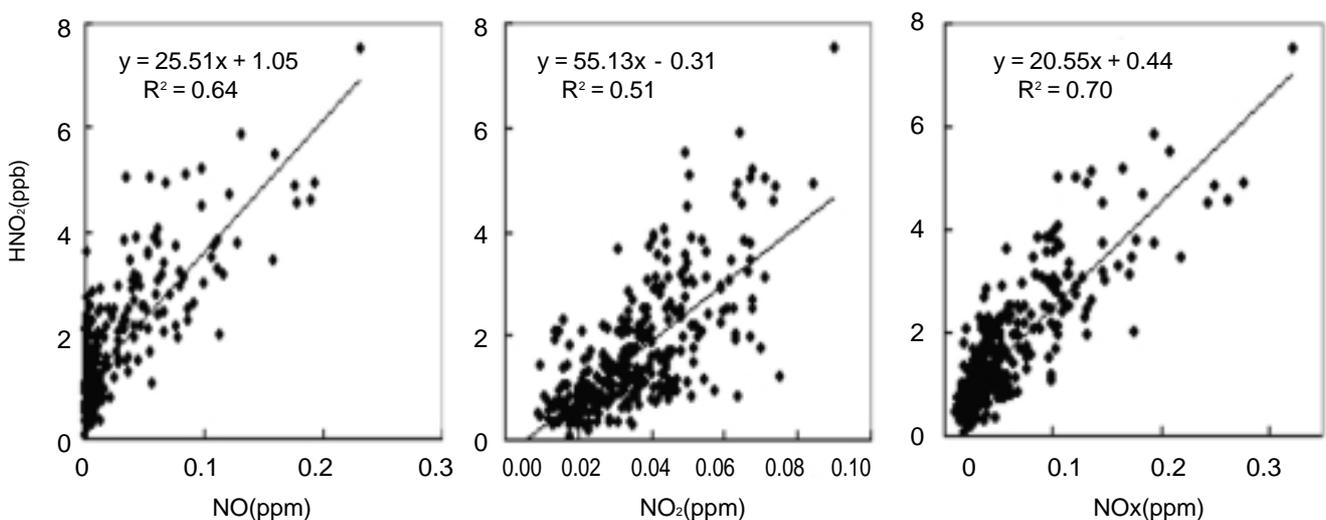


Fig.6 Correlation of HONO to NO, NO<sub>2</sub> or NO<sub>x</sub> at night from Oct. 2003 to Sep. 2004

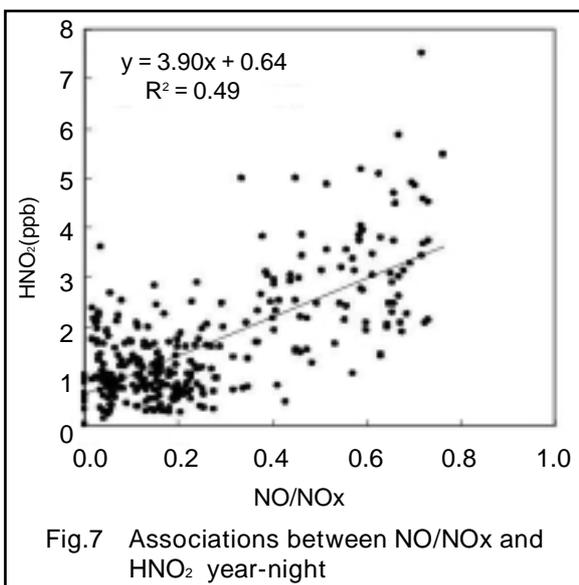
均 $4.4 \pm 2.4\%$ 存在したが、0%から最大15%までの広範囲にばらつき、R2反応による生成寄与を推定させた。なお、都市や近郊でのこの比は0.5~5%であるとレビューされており<sup>21)</sup>、本調査の結果はそれらの中で、高いグループに属する。

なお、ここで使用しているNO<sub>2</sub>濃度はモリブデンコンバーターによりチッソ酸化物をNOに還元後、オゾン酸化して励起状態にしたNO<sub>2</sub>からのケミルミを測定している常時監視のための自動測定器によるデータであり、ガス状亜硝酸もNO<sub>2</sub>として同時に加算測定された濃度である<sup>27)</sup>。都市大気中におけるこの存在比は10%をしばしば超えているから、窒素酸化物の常時監視測定、評価には注意を要する。

Fig.6(右)に示すように、環境大気中のガス状亜硝酸はNO<sub>x</sub>と相関係数0.85の強い相関を有した。これはNO低濃度域における低相関を、NO<sub>2</sub>との相関がカバーした結果、高い相関係数を示したのである。また、ガス状亜硝酸はNO<sub>x</sub>の $3.0 \pm 1.3\%$ (最大8.8%)存在したが、自動車排気中にはNO<sub>x</sub>の0.1~1%<sup>15)</sup>または0.3%<sup>30)</sup>しか含まれておらず、本環境調査はその約10倍も高い存在率を示した。このように、ガス状亜硝酸はNO<sub>x</sub>と強い相関を有するが、NO<sub>x</sub>の主発生源である自動車排気中には少ない事から、大気中のガス状亜硝酸は自動車排気からの直接発生では説明できず、大気中に放出されたNO<sub>x</sub>から二次生成されるのが主であろうと推定される。

### 3) ガス状亜硝酸の理論濃度と観測濃度

燃焼により発生した窒素酸化物のほとんどはNOとして放出され、その後、大気中でオキシダント等によりNO<sub>2</sub>に酸化される。夜間のNO/NO<sub>x</sub>比とガス状亜硝酸濃度との関係をFig.7に示した。発生源に近いなどNO/NO<sub>x</sub>比が大きいほど高濃度が出現している。データ数がほぼ



同数となるように、窒素酸化物の酸化が進んだ状態(NO/NO<sub>x</sub> < 0.2, 試料数: 約150)と進んでいない状態(NO/NO<sub>x</sub> > 0.2)に二分割してみると、NO/NO<sub>x</sub>比0.2以下の範囲では相関が全く認められないが、0.2以上の範囲では相関係数0.69,  $Y = 5.27X - 0.03$  の関係を示し、NOによるガス状亜硝酸生成加速を示した。

反応R2およびR3の反応系の濃度積とガス状亜硝酸濃度との関係をFig.8に示した。なお、水濃度(絶対湿度)は星岳彦氏作成ソフト

<http://www.fb.u-tokai.ac.jp/WWW/hoshi/env/humid-j.html>を用いて求めた。

Fig.8上欄のNO/NO<sub>x</sub> > 0.2の場合には、NOとNO<sub>2</sub>および水の濃度積はガス状亜硝酸測定濃度と相関係数0.84の強い相関を示し、R2反応による生成が主であることを示した(左図)。しかし、x軸がほぼゼロであっても相当量のガス状亜硝酸濃度(切片1.2ppb)を示した。また、(中図)に示すようにNO<sub>2</sub>濃度の2乗と水濃度の積もガス状亜硝酸濃度と有意の相関を有し、R3反応による生成を示したが、その相関係数0.62はR2反応の場合よりやや低く、主たる生成反応はR2反応と推定される。

Fig.8下欄のNO/NO<sub>x</sub> < 0.2の場合には、NOとNO<sub>2</sub>および水の濃度積とガス状亜硝酸濃度との相関は相関係数0.4とやや低かったが、NO<sub>2</sub>濃度の2乗と水濃度の積とガス状亜硝酸濃度とは0.54の相関係数を示し、R3反応による生成が主と推定された。

NO, NO<sub>2</sub>および水からのガス状亜硝酸生成反応R2は平衡反応であり、Chanら<sup>30)</sup>はその解離平衡定数

$$K = \frac{[\text{HNO}_2]^2}{[\text{NO}][\text{NO}_2][\text{H}_2\text{O}]} = 1.43 \times 10^{-11} T \exp(4730/T) \text{ m}^3\text{mol}^{-1}$$

を報告している。Chanらの解離平衡定数を用いたガス状亜硝酸の平衡濃度は  $[\text{HNO}_2]_{\text{eq}}$

$$= 0.0321 ([\text{NO}][\text{NO}_2][\text{H}_2\text{O}] T \exp(4730/T))^{1/2}$$

より算出される。但し、Tは気温(°K)、 $[\text{HNO}_2]_{\text{eq}}$ :ppb,  $[\text{NO}]$ ,  $[\text{NO}_2]$ :ppm,  $[\text{H}_2\text{O}]$ :kg H<sub>2</sub>O/kg air である。

上式によるガス状亜硝酸の平衡濃度と測定濃度との関係をFig.8(右)に示した。NO/NO<sub>x</sub> > 0.2の場合には相関係数0.85の強い相関があって、R2反応による生成を示し、また測定されたガス状亜硝酸濃度も比較的高濃度である。しかし、測定濃度は平衡濃度の約1/3( $0.36 \pm 0.12$ (最大0.83))しか説明できず、ほとんどのプロットは未飽和状態にあった。一方、NO/NO<sub>x</sub> < 0.2の場合には弱い相関であり、測定された濃度も低いが、平衡濃度の平均 $0.75 \pm 0.53$ であり、平衡濃度以上のプロットが42ヶ(22%)あって、R3反応による生成が主であると推定された。これらの結果はスウェーデン ゴーツェンブルグ市におけるガス状亜硝酸(夜間12時間値)についてのSjodinら

の報告<sup>27)</sup>とほぼ一致した。ただし、彼らはNO/NO<sub>2</sub>比0.5以上、以下とに分割しているが、その比が0.5以下の場合のガス状亜硝酸と窒素酸化物・水との濃度積や平衡濃度との相関係数は本報よりそれぞれ0.2~0.3高い値であり、NOが相対的に低濃度の場合であっても、NOの関与するR2反応の寄与を否定していない。

4) ガス状亜硝酸生成反応の推定

大気中におけるガス状亜硝酸の生成反応としては、上述の反応R1, R2およびR3が提案されているが、R1反応ではOH・濃度が低い夜間におけるガス状亜硝酸の高濃度を説明できず、またガス相ではR2反応もR3反応も非常に遅い反応<sup>32)</sup>である。たとえばSjodinら<sup>27)</sup>はR2反応によって観測濃度を説明するには80時間または550時間を要するとしている。現在、大気中のガス状亜硝酸は窒素酸化物が粉塵や地表等の表面上で水分とR2またはR3による反応をして生成する不均一相反応によって生成されると考えられている。そして、Sjodinら<sup>27)</sup>はR2反応が主要な生成反応であると提唱したが、スモッグチャンバー実験では、NOが存在しない状態でもガス状亜硝酸がNO<sub>2</sub>濃度に一次に依存して生成される事<sup>33)</sup>、この時、ガス状硝酸は検出されないが、チャンパー器壁よ

りNO<sub>3</sub><sup>-</sup>が検出された事、環境大気においてはガス状亜硝酸の平衡濃度以上の濃度が測定される事から、Atkinsonら<sup>34)</sup>はNO<sub>2</sub>の水和反応である反応R3が主要な亜硝酸生成機構であり、R2反応は無視できるとした。しかし、このチャンパー実験結果はNOも加わる反応R2の寄与を否定するものではない。

当調査では、NOとの相関：非常に良い(特に、NO/NO<sub>x</sub>比が低い場合)、反応系の濃度積と観測濃度：NOとNO<sub>2</sub>および水蒸気の濃度積と観測濃度との相関がもっとも良い、ガス状亜硝酸の平衡濃度と観測濃度：良い相関といずれもR2反応が主な生成反応であることを支持し、特にNO/NO<sub>x</sub>が大きい場合に顕著である。そして、NOが低濃度の場合にはR3反応の寄与も大きくなると推定された。

・ 摘要

スルファニルアミド/塩酸溶液への高速バブリング法により、ガス状亜硝酸の2時間値を当センター屋上で24時間、各月5日間ずつ1カ年間、測定した。

1) 夜間の幾何平均濃度は1.2ppb、日中のそれは0.9ppb

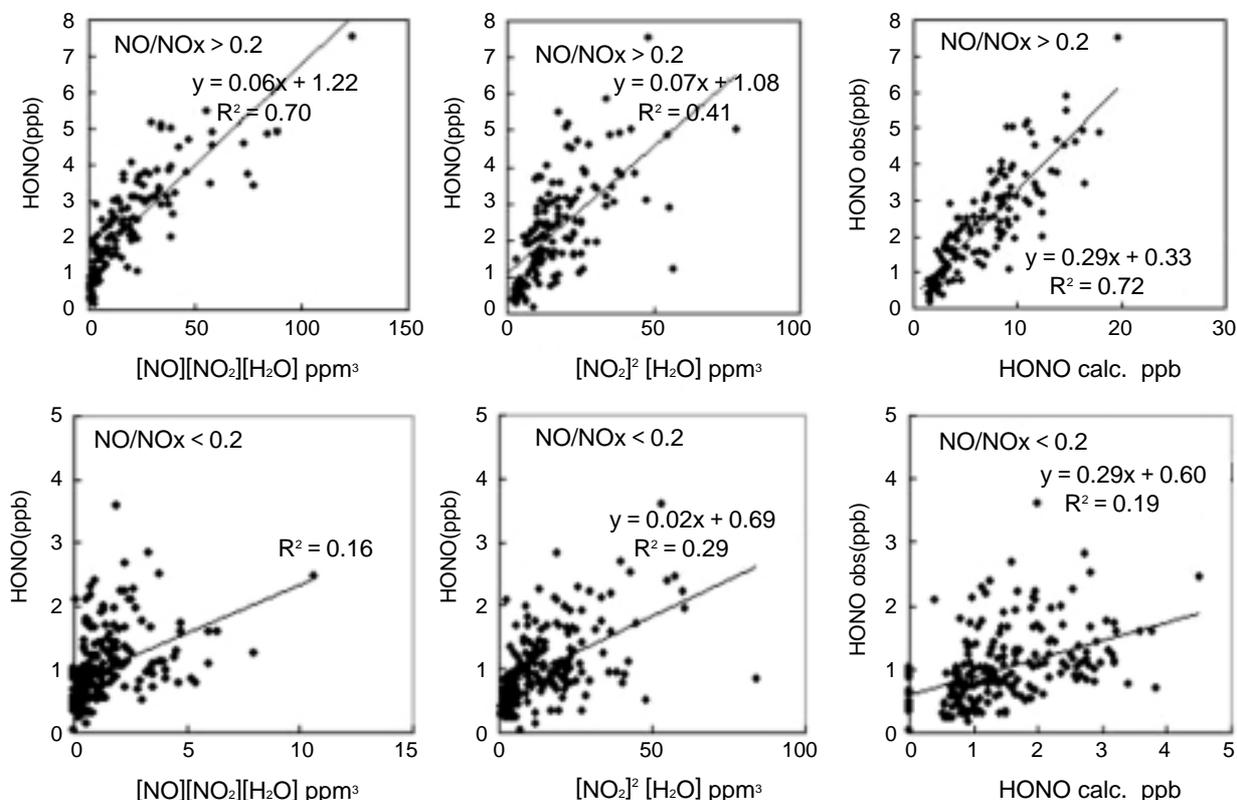


Fig.8 Observed and calculated HONO concentrations by equilibria and rate expressions at different NO/NO<sub>x</sub>

であり、夜間に高濃度であるが、日中においてもかなりの濃度が検出された。

- 2) 朝から白昼にかけて濃度が低下していき、その後、夕刻より濃度が上昇して、深夜24時ごろに最高濃度に至った後、低下し、早朝に再び濃度上昇する日変動パターンが多く見られた。
- 3) この日変動パターンは他の大気汚染物質の中でNOの濃度変動パターンにもっとも類似した。
- 4) ガス状亜硝酸はCOやNO<sub>x</sub>と非常に良い相関があり、ついでNOとも良い相関が認められた。NO<sub>2</sub>との相関も良いが、NOよりはやや悪い。
- 5) NOとNO<sub>2</sub>および水蒸気の濃度積と観測濃度との関係、および平衡濃度と観測濃度との関係から、環境大気中でのガス状亜硝酸は主としてNOとNO<sub>2</sub>および水蒸気が粒子等の表面で不均一相反応して生成されていると推定された。また、NOが少ない場合にはNO<sub>2</sub>の水和反応による生成も寄与すると推定された。

## 引用文献

- 1) Perner D. and Platt U. (1979); Detection of nitrous acid in the atmosphere by differential optical absorption, *Geophys. Res. Lett.*, 6: 917 ~ 920
- 2) Harris G.W., Carter W.P.L., Winer A.M., Pitts J.N., Platts U. and Perner D. (1982); Observations of nitrous acid in the Los Angeles atmosphere and implications for the predictions of ozone-precursor relationships, *Environ. Sci. Technol.*, 16: 414 ~ 419
- 3) Aliche B., Geyer A., Hofzumahaus F., Holland S., Konrad J., Schfer J., Stutz A., Volz-Thomas and Platt U. (2003); OH formation by HONO photolysis during the BERLIOZ experiment, *J. Geophys. Res.*, 108: 8247.
- 4) Jenkin M.L., Cox R.A. and Williams D.J. (1988); Laboratory studies of the kinetics of formation of nitrous acid from the thermal reaction of nitrogen dioxide and water vapour; *Atmos. Environ.*, 22: 487 ~ 498
- 5) Grosjean D. (1991); Atmospheric chemistry of toxic contaminants. 6 Nitrosamines, *J. Air Waste Manage. Assoc.*, 41: 306 ~ 311
- 6) Pitts J.N. Jr., Grosjean D., Cauwenberghe K.V., Schmid J.P. and FitzD.R. (1978); Photooxidation of Aliphatic Amines under simulated atmospheric conditions, *Environ. Sci. Tech.*, 12: 946 ~ 964
- 7) Rasmussen T.R., Brauer M. and Kjargaad S. (1995); Effects of Nitrous Acid Exposure on human mucous membranes, *Amer. J. Respir. Crit. Care Med.*, 151: 1504 ~ 1511
- 8) Beckett W.S., Russi M.B. and Haber A.D. (1995); Effect of Nitrous acid on lung function in asthmatics, *Environmental Health Perspectives*, 103: 372 ~ 375
- 9) Jarvis D.L., Leaderer B.P., Chinn S., Burney P.G. (2005); Indoor nitrous acid and respiratory symptoms and lung function in adults, *Thorax*, 60: 474 ~ 479
- 10) van Strien R.T., Gent J.F., Belanger K., Triche E., Bracken M.B., and Leaderder B.P. (2004); Exposure to NO<sub>2</sub> and Nitrous acid and respiratory symptoms in the first year of life, *Epidemiology*, 15: 471 ~ 478
- 11) 岡 憲司; ポリアミドフィルターによるガス状亜硝酸捕集 ガス状硝酸測定への干渉(2006). 大阪府環境情報センター所報. 25: 103 ~ 106
- 12) Perrino C., De Santis F. and Febo A. (1988); Uptake of nitrous acid and nitrogen oxides by Nylon surfaces. Implications for nitric acid measurement. *Atmos. Environ.*, 22: 1925 ~ 1930
- 13) Pitts J.N., Biermann H.W., Winer A.M. and Tuazon E.C. (1984); Spectroscopic identification and measurement of gaseous nitrous acid in dilute auto exhaust. *Atmos. Environ.*, 18: 847 ~ 854
- 14) Kirchstetter T.W., Harler R.A. and Littlejohn D. (1996); Measurement of nitrous acid in motor vehicle exhaust, *Environ. Sci. Technol.*, 30: 2843 ~ 2849
- 15) Kurtenbach R., Becker K.H., Gomes J.A.G., Kleffman J., Lorzer J.C., Spittler M., Wiesen P., Ackermann R., Geyer A. and Platt U. (2001); Investigations of emissions and heterogeneous formation of HONO in a road traffic tunnel, *Atmos. Environ.*, 35: 3385 ~ 3394
- 16) Pitts J.N., Wallington T.J., Biermann H.W. and Winer A.M. (1985); Identification and measurement of nitrous acid in an indoor environment. *Atmos. Environ.*, 19: 763 ~ 767
- 17) Willers S.M., Brunekreef B., Oldenwening M., Smit H.A., Kerkhof M. and De Vries H. (2006); Gascooking, kitchen ventilation, and exposure to combustion products, *Indoor air*, 16: 65 ~ 73
- 18) 岡憲司・竹中規訓・坂東博(2005)大気中ガス状亜硝酸濃度の簡便な測定法. 大阪府環境情報センター所報. 24: 65 ~ 71
- 19) Shutz J., Kim E.S., Platt U., Bruno P., Perrino C., and Febo A. (2000); U.V-visible absorption cross section of nitrous acid, *J. Geophys. Res.*, 105: 585 ~ 592
- 20) Lammel G. and Cape J.N. (1996); Nitrous acid and nitrite

- in the atmosphere, *Chem.Soc.Rev.*,25:361
- 21) Reisinger A.R. (2000); Observations  $\text{HNO}_2$  in the polluted winter atmosphere: possible heterogeneous production on aerosols, *Atmos. Environ.*,34:3865 ~ 3874
- 22) Takenaka N., Terada H., Oro Y., Hiroi M., Yoshikawa H., Okitsu K. and Bandow H. (2004); A new method for the measurement of trace amounts of HONO in the atmosphere using an air dragged aquamembrane-type denuder and fluorescence detection, *Analyst*,129:1130 ~ 1136
- 23) Huang G., Zhou X., Deng G., Quio H. and Civerolo K. (2002); Measurements of atmospheric nitrous acid and nitric acid, *Atmos. Environ.*,36:2225 ~ 2235
- 24) Acker K., Spindler G. and Brüggemann E. (2004); Nitrous and nitric acid measurements during the INTERCOMP 2000 Campaign in Melpitz, *Atmos. Environ.*,38:6497 ~ 6505
- 25) 松本 光弘 (1997) . 二重管拡散デニューダー法による大気中のガスとエアロゾルの測定 . 環境技術. 26:826 ~ 837
- 26) 野口泉・加藤拓紀・秋山雅行 (2003) . 亜硝酸ガスの測定法と札幌における季節別濃度変動 - 拡散デニューダーおよびフィルターパックによる. 第44回大気環境学会年会講演要旨集:p402
- 27) Park S.S., Hong S.B., Jung Y.G. and Lee J.H. (2004); Measurements of PM10 aerosol and gasphase nitrous acid during fall season in a semiurban atmosphere, *Atmos. Environ.*,38:293 ~ 304
- 28) 鈴木崇彦・竹中規訓・坂東博・前田泰昭 (1998) . 窒素酸化物自動測定装置に対する亜硝酸の影響. 第39回大気環境学会年会講演要旨集:p521
- 29) Kirchstetter T.W. and Harley R.A. (1996); Measurement of Nitrous acid in motor vehicle exhaust, *Environ.Sci. Technol.*,30:2843 ~ 2849
- 30) Chan W.H., Nordstrom R.J., Calvert J.G. and Shaw J.H. (1976); Kinetic study of HONO-formation and decay reactions in gaseous mixtures of HONO, NO,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  and  $\text{N}_2$ . *Environ.Sci.Technol.*10:674 ~ 682
- 31) Sjödin A. and Ferm M. (1985); Measurements of Nitrous acid in an urban area, *Atmos. Environ.*,19:985 ~ 992
- 32) Kaiser E.W. and Wu C.H. (1977); A kinetic study of gas phase formation and decomposition reactions of nitrous acid, *J.Phys.Chem.*,81:1701 ~ 1706
- 33) Kieffmann J., Becker K.H., and Wiesen P. (1998); Heterogeneous  $\text{NO}_2$  conversion processes on acid surfaces. Possible atmospheric implications, *Atmos. Environ.*,32: 2721 ~ 2729
- 34) Atkinson R., Carter W.P.L., Pitts J.N. and Winter A. M. (1986); Measurements of Nitrous acid in an urban area, *Atmos. Environ.*,20:408 ~ 409

# 多様な生物相復元のためのエコアップ手法の確立

山田倫章・松下美郎・石井 亘\*

## Establishment of The Restoration Method of Plants and Insects in The Expo Park

Michiaki YAMADA , Yoshiro MATSUSHITA and Wataru ISHII\*

### Summary

We set up the two abandoned area about 250m<sup>2</sup> and 300m<sup>2</sup> without mowing lawn in a plaza, and investigated the effect of abandon on the species diversity of vegetation and insects for three years.

The number of species of vegetation increased for two years, followed the decrease of number in the third year. The number of species of insects also showed the same tendency as vegetation. The reason of decrease of diversity level was seemed to increasing of the number of dominant species in the third year. By an opinionaire, it was suggested that a lot of visitors do not prefer the existence of the meadow in a plaza, but they approve of touching with various vegetation and insects.

It was thought that making the abandoned area in plaza was effective method to induce rich species diversity of vegetation and insects until two years. These results suggest that to keep rich diversity of vegetation and insect management such as mow the dominant plant in the area or rotate the position of the area in the lawn is necessary every three year.

### はじめに

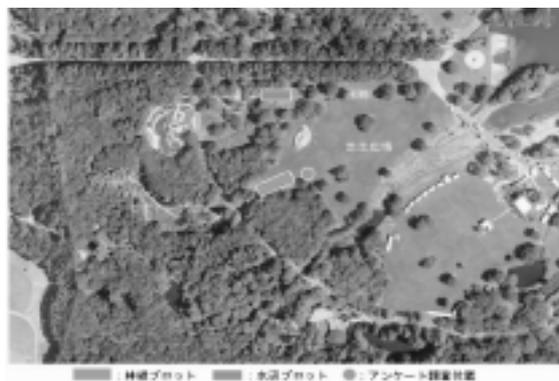
1970年の日本万国博覧会の跡地に造成された自然文化園では、植栽後30年を経過し、広大な森が形成されている。しかし、その森は高木の単層林のため鬱蒼とし、種の多様性の面では劣っており、当初計画された「自立した森」<sup>1)</sup>の実現が困難視されている。そのため、自然文化園を管理する(独)日本万国博覧会記念機構は、ギャップ工法、間伐工法等による「自立した森づくり」手法を検討し、本来その地にいた動物、鳥、昆虫等多様な生物が生息できる「より自立した郷土の森」として再生する取り組みを始めた<sup>2)</sup>。しかし、「自立した森」の再生を図るためには、森林部分だけでなく、芝生部分での自然再生の取り組みも必要で、自然文化園全体が一体となった生物の生息空間となるよう、多様な空間が適正に配置されなければならない。

一方、広大な芝生広場の現状は、定期的な一律の芝刈り管理が行われ、芝生としての品質が高度に維持され美しい広場となっている。しかし、その反面、生物の生息空間としての多様性は低く、生物相が貧弱な状況にある。また、暗い密生林と多様性の低い芝生広場が個別にあるのみで、その中間的な植生域が存在しない状況にある。そこで、芝生広場の一部に刈り込みをしない放任管理の

草地(以下、草地)を形成し、その草地が森林と芝生の中間的な植生域と成りうるのか、また、そこでは多様な植物相が復元し、それに伴い多様な昆虫が生息する空間と成りうるのか、その可能性を検討した。

また、利用する来園者にとって芝生広場は、憩いの場であり、各種イベントの開催場所でもあることから、高品質な芝生の維持に対するニーズが高いものと想像される。そこで、このような芝生広場での取り組みを来園者が受け止めてくれるのか、その意向を把握するためのアンケート調査を実施した。

### 材料および方法



第1図 調査地位置図

\*大阪府環境農林水産部みどり・都市環境室森林課 (Forestry Division, Osaka Prefectural Government)

## 1. 試験区の設定

### 1) 試験プロットの設定

芝生広場の南西に位置する林の林縁部に300m<sup>2</sup>の調査プロット（以下、林縁プロットという）、および芝生広場の北に位置し東西に流れる水路を挟む250m<sup>2</sup>の調査プロット（以下、水辺プロットという）の2カ所を2004年6月に設定し（第1図）、その後3カ年間、芝刈りをしない放任管理とした。

### 2) 植物、昆虫調査

植物、昆虫調査は、同一日に実施した。2004年は、6月23日、7月23日、8月18日、9月15日、10月27日の計5回、2005年は、5月11日、6月8日、7月20日、8月24日、9月21日、10月26日の計6回、2006年は、6月7日、7月12日、8月8日、9月14日、10月4日の計5回であった。

植物調査はプロット内の種の同定及び種別の被度、昆虫調査は、目視および虫取り網のスイーピングによる捕獲により種の同定を行った。

### 3) アンケート調査

2004年11月6日（土）および2006年11月3日（祝）の2回実施した。午前10時から午後3時の間、林縁プロットの東側の芝生広場内において、直接来園者にアンケートを依頼、アンケート用紙を配布し、その場で回答をもらう方式で実施した。

## 結果および考察

### 1. 植物調査

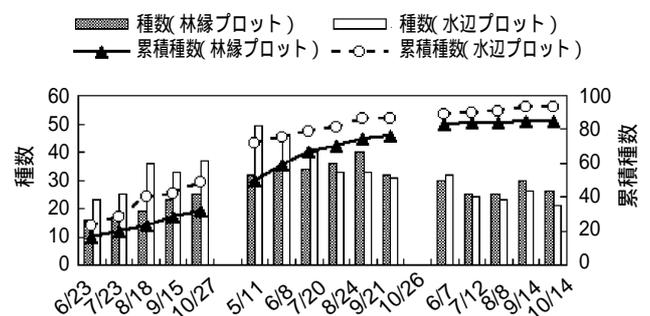
調査開始時の植生は、林縁プロットでは、そのほとんどがシバで覆われていた。シバ以外では、オオバコ、スズメノカタビラが散在する程度であった。なお、林縁プロットに隣接する慣行管理の芝地においては、調査期間中も同様の植生状況が継続した。一方、水辺プロットで

は、ヨモギやシロツメクサなどシバ以外のものが多く見られた（第2図）。

### 1) 植物の種数と被度

3カ年に確認した種数は、林縁プロットでは84種、水辺プロットでは93種であった。

累積種数は、林縁プロットでは、2004年6月23日の16種から同年10月27日には32種、2005年10月26日には76種、2006年10月4日には85種と推移した。一方、水辺プロットでは、2004年6月23日の23種から同年10月27日には49種、2005年10月26日には86種、2006年10月4日には93種と推移した（第3図）。



第3図 植物種数の推移

水辺プロットでの種数の方が林縁プロットよりも初期から多く推移したが、これは、プロット設定前から水辺プロットの方が、植物種数の多かったことが影響したものと考えられた。

年単位の種数は、林縁プロットでは32、71、36種、水辺プロットでは49、79、41種と推移した。林縁および水辺プロットとも、2年目は増加したが、3年目には減少し、1年目と同程度となった。また、1日の最大確認種数は、林縁プロットでは2005年8月24日の36種、水辺プロットでは2005年5月11日の49種であった。

草種別被度の推移は、林縁プロットでは、2年目から



林縁プロット

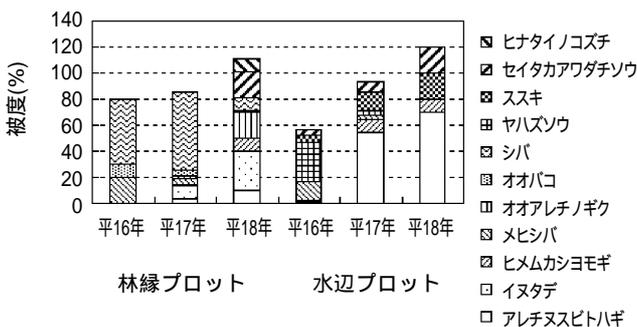


水辺プロット

第2図 放任管理前の状況（平成16年6月）

アレチヌスビトハギとイヌタデが増加した。3年目にはこれら2種が大面積を優占するとともに、繁殖力が旺盛で草丈の高いヒメムカシヨモギ、オオアレチノギクおよびセイタカアワダチソウが優占し、これら大型種が他の草種を被圧、また抑制したため、3年目の種数が減少したものと考えられた。一方、水辺プロットでは、2年目からアレチヌスビトハギ、ヒメムカシヨモギおよびススキが増加し、とくにアレチヌスビトハギの増加が激しかった。3年目には、アレチヌスビトハギ、ヒメムカシヨモギ、ススキおよびセイタカアワダチソウが優占した。これら草種の被圧の影響で小型の種が減少し、全体の種数が減少したものと考えられた(第4図)。

また、時間の経過とともに、林縁プロットからオオバコが、森林から林縁プロットを越えクスが、それぞれ芝生地にまで進入してきた。さらに、プロット内において、ナンキンハゼ、クスノキおよびクヌギなどの木本類が出現してきた。



第4図 植物被度の推移

## 2) 植物調査のまとめ

芝生広場に250~300m<sup>2</sup>の草地を設置すると、2年後には、およそ70種の植物が確認できるようになった。しかし、3年目には、ヒメムカシヨモギ、オオアレチノギク、セイタカアワダチソウおよびアレチヌスビトハギのような優占しやすい種の影響で、種数は減少傾向に転じた。このような種数の推移から見ると、放任期間は2カ年が適当と推測された。

林縁プロットではイヌタデ、水辺プロットではヤハズソウやススキというような、一方のプロットにしか出現しない種が見られた。また、林縁プロットは林縁に位置するものの、土壌の水はけが悪く、ノチドメなどの湿地性の種が見られた。逆に、水辺プロットは水路を挟んだ位置にありながら、地形が凸状で日当たりが良く乾燥気味の土壌であることから、カヤツリグサ科のような湿地性の種が想像したほどには見られなかった。このように、芝生広場内のどこでも同じような植物が出現するとは限らないことから、草地を設置する際には、事前に出

現する種を把握しておく必要があると考えられた。

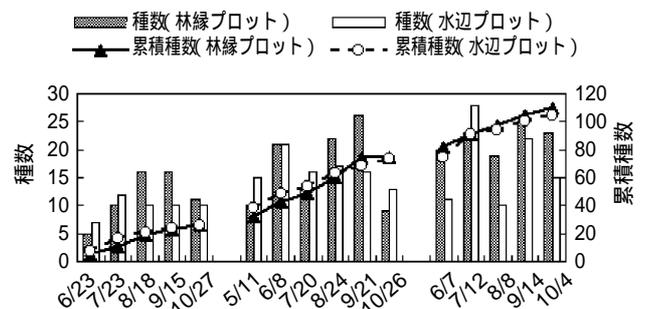
また、優占しやすい種、踏みつけに強い種や蔓性の草本類および木本類は、以前のような管理された芝生へ戻す際に大きな障害になることから、刈り取りや抜き取りなどの早急な対策が必要だと考えられた。

## 2. 昆虫調査

### 1) 昆虫の種数

3カ年に確認した種数は、林縁プロットでは110種、水辺プロットでは104種であった。

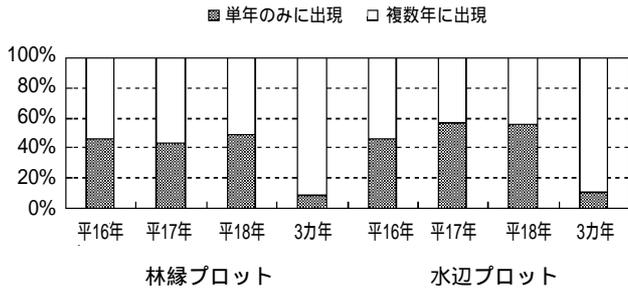
累積種数は、林縁プロットでは2004年6月23日の5種から同年10月27日には26種、2005年10月26日には75種、2006年10月4日には110種と増加した。一方、水辺プロットでは、2004年6月23日の7種から同年10月27日には26種、2005年10月26日には73種、2006年10月4日には104種と増加し、林縁および水辺プロットとも同様な傾向を示した(第5図)。



第5図 昆虫種数の推移

年単位の種数は、林縁プロットでは26, 60, 71種、水辺プロットでは26, 60, 56種と推移した。水辺プロットでの確認種数が3年目には減少に転じたこともあり、林縁プロットの方が多くなった。また、1日の最大確認種数は、林縁プロットでは2005年9月21日の26種、水辺プロットでは2006年7月12日の28種であった。

3カ年連続して両プロットで確認した種は、シオカラトンボ、ウスバキトンボ、オンバツタ、エンマコオロギ、クロオオアリおよびヨトウガ亜科幼虫の6種だった。林縁プロットのみで確認した種は、ヒシバツタ、コバネイナゴ、ヒゲナガカメムシおよびオオヨコバイの4種、一方、水辺プロットのみで確認した種は、ショウリョウバツタ、ウリハムシ、ヤマトシジミ、モンシロチョウおよびモンキチョウの5種であった。このことから、林縁プロットでは10種、水辺プロットでは11種が定着しているものと推測され、これら種数は、各年で確認した全種数のそれぞれ9.1%, 10.6%に相当した。一方、この3カ年で、各年に確認した全種数に対する割合は、林縁プロットでは46.2, 43.3, 49.3%, 水辺プロットでは46.2,

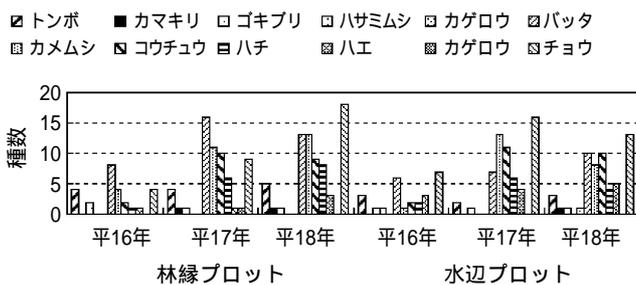


第6図 昆虫の出現頻度

56.7, 55.4%とおおよそ50%であった。これらのことから、両プロットとも毎年半数の種が入れ替わっているものと推測された(第6図)。

2) 目別の種数

年単位の目数は、林縁プロットでは8, 10, 9目と推移し、3カ年で10目を確認した。一方、水辺プロットでは9, 8, 10目と推移し、3カ年で11目を確認し、目数に年次変動は認められなかった(第7図)。



第7図 昆虫目別種数

両プロットとも、トンボ目、ゴキブリ目、バッタ目、カメムシ目、コウチュウ目、ハチ目、ハエ目およびチョウ目の8目が3カ年間連続して確認された。水辺プロットでは、林縁プロットに比べ、ハサミムシ目の1目を多く確認したが、これは1年目だけの確認で、2, 3年目は、カゲロウ目やカマキリ目を確認するようになった。トンボ目は、林縁プロットでは4, 4, 5種と推移し、3カ年で8種、水辺プロットでは3, 2, 3種と推移し、3カ年で4種を確認した。両プロットで確認した種は、シオカラトンボとウスバキトンボおよびコノシメトンボの3種であった。水辺に依存するイトトンボ類では、水辺に生息しかつ生息場所からあまり離れないアオモンイトトンボが、1回しか確認できなかった。その原因は、水辺プロット中央を流れる水路の水供給が休園日は停止されるため、本種の生息に適さなかったためと考えられた。水辺プロットでは確認できず、林縁プロットで確認したいわゆる「赤とんぼ」は、ナツアカネ、コノシメト

ンボ、リスアカネおよびショウジョウトンボの4種であった。これらは、未成熟時には森林を利用し、成熟後、産卵場所となる水辺へ移動する種である。これら4種にとって林縁プロットは、森林と水辺間の中継地点となっているものと推測された。

カマキリ目は、林縁プロットでは、3年目にしてオオカマキリが安定して見られるようになった。昆虫類での生物ピラミッドで頂点に位置するこの種が見られたことは、林縁プロットの昆虫層が安定してきた可能性を示唆している。一方、水辺プロットでは2006年7月の一度のみであった。

バッタ目は、林縁プロットでは8種、16種、13種と推移し、3カ年で23種、水辺プロットでは6, 7, 10種と推移し、3カ年で13種が確認され、林縁プロットの方が多かった。林縁プロットでは、1年目から草丈の低い場所に生息するヒシバッタや湿り気のある場所を好むエンマコオロギが確認され、その後、イネ科植物の増加とともに、ショウリョウバッタやトノサマバッタ、キリギリスなどの大型種が、また、森林のような薄暗い環境を好むツクムシやクサキリも確認されるようになったが、3年目には種数が減少した。これは、プロット内の植生が、イネ科植物からキツネノマゴやヒナタイノコズチなどの花類に植生が変化したことにより、バッタ類の利用頻度が下がったためと考えられた。一方、水辺プロットでは、1年目からススキなど草丈の高い植生が存在したことから、ショウリョウバッタのような大型種も見られたが、林縁プロットほどの種の増加は認められなかった。これは水辺プロットが、森林性バッタ類の供給源となる森林から離れ、日当たりが良く土壌が乾燥していることで、バッタ類の生息に適さなかったためと考えられた。

コウチュウ目は、林縁プロットでは2, 10, 9種と推移し3カ年で18種、水辺プロットでは2, 11, 10種と推移し3カ年で19種が確認された。2年目の急増は、植物種数の増加により、コウチュウ類の生息に適した環境になったためと考えられた。また、両プロットにおいて、2年目以降にナナホシテントウやテントウムシが現れた。これはオオカマキリと同様、餌となる草食性昆虫の幼虫が安定して出現するようになったためと考えられた。

チョウ目は、林縁プロットでは4, 9, 18種と推移し3カ年で24種が確認された。1年目には芝を食草とするヨトウガとスズメガの2種だけであったが、2年目以降増加した。一方、水辺プロットでは7, 16, 13種と推移し3カ年で26種が確認され、林縁プロットより多かった。当初からセイタカアワダチソウやハギ類といった吸蜜植物が多かったためと考えられる。

また、一般的に「チョウ」と呼ばれる種のみを抽出す

ると、林縁プロットで13種、水辺プロットで17種を確認した。しかし、大型のアゲハチョウ類が確認されなかったこと、また、水辺プロットで見られたクロアゲハは、単にプロット上空を通過するのみであったことから、現状の植生では吸蜜に適した花類が少なく、大型のアゲハチョウ類の生息は望めないものと推測された。

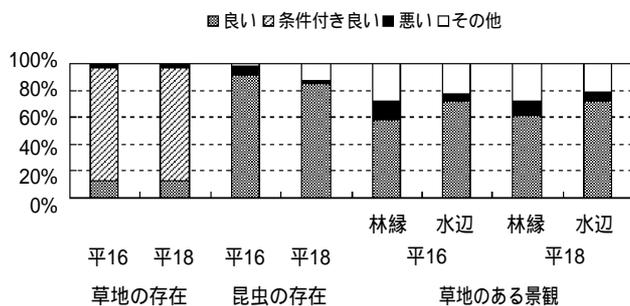
### 3) 昆虫調査のまとめ

林縁プロットでは、年単位で28, 60, 71種と増加した。一方、水辺プロットでは、2年目までは26, 60種と増加したが、3年目には56種と減少に転じた。これは、昆虫が求める大型の草本や吸蜜植物など植物種数の増減に連動した結果と考えられた。また、2006年の調査時にはカマキリや肉食系のハチ類を安定して確認したことから、3年目で昆虫にとっての生態系ピラミッドが形成される生息環境になったものと推定された。また、毎年、およそ半数の種が入れ替わっていた。このように、芝生広場において、昆虫の生息するポテンシャルは潜在的に多く存在していることが明らかになった。

一方、子供たちが好むであろうと想定されるバッタやトンボ類の種数は、2005年が最も多かった。これらの昆虫の生息には、イヌタデやアレチヌスビトハギなどの数種が占有する環境より、多くの植物種が混在する2年目の環境の方が適していると考えられた。

また、生態系の安定とともに、肉食系のアシナガバチやスズメバチのようなハチ目やクモ類等が、2年目以降増加した。来園者の安全面を考慮すると、このような危険な昆虫を増加させないために、放任管理は2年間とし、その後はある程度の管理をする方が良いと考えられた。

### 3. アンケート調査



第8図 アンケート結果

万博公園における自然再生への取組について、来園者に直接聞き取り調査した。有効回答数は、2004年は111、2006年は143であった。この2カ年に共通した質問事項である「草地の存在の是非」、「生き物の存在の可否」および「草地に対する印象」についての回答結果を比較

したところ、同様の傾向が見られた(第8図)。

#### 1) 2004年の調査

##### (1) 草地の存在の是非

「芝生広場全面が自然の草地であっても良い」は12.6%、一方、「草地はいらない(今までどおりの芝生広場がよい)」は2.7%であった。「芝生広場の部分的に自然の草地があっても構わない」が73.9%、「草地はあっても良いが、草刈りはして欲しい」が10.0%と条件付きの肯定派が83.9%を占めた。

##### (2) 生き物の存在の可否

「自然な感じで良い」が91.0%、一方、「好きな生き物だけなら良いが、嫌いな生き物はいない方がよい」が6.3%、「芝生にいる生き物だけで十分なので、それ以外の生き物はいらない」が0.9%であった。

##### (3) 草地に対する印象

「自然な感じで良いと思った」は、林縁プロットでは58.6%、水路プロットでは72.1%、一方、「公園にふさわしくない景観だと思った」林縁プロットでは13.5%、水路プロットでは5.4%であった。

#### 2) 2006年のアンケート調査

##### (1) 草地の存在の是非

「芝生広場全面が自然の草地であっても良い」は13.3%、一方、「草地はいらない(今までどおりの芝生広場がよい)」は2.1%であった。「芝生広場の部分的に自然の草地があっても構わない」が59.4%、「草地はあっても良いが、草刈りはして欲しい」が24.5%と条件付きの肯定派が83.9%を占めた。

##### (2) 生き物の存在の可否

「良い」が85.3%で、大多数だった。一方、「悪い」は2.1%とごく少数だった。

##### (3) 草地に対する印象

「自然でよいと思った」が林縁プロットで60.8%、水辺プロットで72.0%であった。一方、「ふさわしくない」とした人が林縁プロットで11.2%、水辺プロットで7.0%存在した。

#### 3) アンケート調査のまとめ

来園者のおよそ60%は、草地のある芝生広場を容認するものと推測された。しかし、草地の存在そのものに対する賛成ではなく、来園者のおよそ90%が昆虫とふれあえることに賛成しており、昆虫の生息する場が草地であるということからの容認だと推測された。草地は昆虫の大きな供給源として重要な存在だが、来園者の意向からすれば、ある程度の草丈の管理をするなどの考慮が必要と考えられた。

## ．摘要

万博公園の芝生広場内に250m<sup>2</sup>，300m<sup>2</sup>の放任管理区を設け，そこに出現する植物相，昆虫相の変化を3カ年調査した．

両区とも，2カ年で植物および昆虫相の種の多様性が高まった．しかし，3年目には，特定の植物種の優占で種数が減少し，それに伴い昆虫種数も減少し，景観的にも見劣りしてきた（第9図）．また，大多数の来園者は様々な植物や昆虫と触れ合うことを求めており，多様な生物の生息空間としての草地の存在を容認している．

これらのことから，芝生広場内に放任管理区を設けることは，多様な生物が生息する空間を創出する手法として有効だと考えられた．しかし，その放任期間は2年程

度とし，3年目以降は優占種の除去などのある程度の管理をするか，放任管理区の設置場所を芝生広場内でローテーションしていくなどの措置が必要と考えられた．

本研究は，独立行政法人日本万国博覧会記念機構からの受託により実施したものである．関係各位のご理解と御協力に感謝します．

## ．引用文献

- 1) (独)日本万国博覧会記念機構(1972)．万博記念公園基本計画報告書
- 2) (独)日本万国博覧会記念機構(2004)．万博記念公園における『自立した森づくり』の計画(手法確立にむけた年次計画)



林縁プロット



水辺プロット

第9図 3カ年放任管理後の状況

## 水資源かん養のために間伐されたスギ・ヒノキ林への 広葉樹の侵入状況

伊藤孝美

### The Intrusion of Broadleaf Glove into Japanese Cedar and Cypress Stands Thinned for the Water Resource Cultivation

Takami Iro

#### Summary

In Sengokudani area at Kawachi-nagano city, it was investigated into the vegetation of forest floor in the Japanese Cypress (*Chamaecyparis obtusa* Endlicher, Cupressaceae) stands, Japanese Cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don, Cupressaceae) stands, Japanese Pine (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc., Pinaceae) stands, damaged forest owing to Typhoon and roadside stands. According to the intrusive broadleaved trees in forest floor, it was estimated the effect of thinning or selection felling on vegetation mixed conifers and broadleaved trees.

- 1) Mother trees of tall-height broadleaved trees were distributed in the ridge of those forests. And, It was a good chance of scatter of seeds of broadleaved trees in a neighborhood stands.
- 2) In the Japanese Cypress stands thinned 30% before more than 5 years and before 3 years, the rate of vegetative cover of undergrowth was low, arboreal broadleaved trees and positive tree were little. So that, it could not expect the mixing of conifers and broadleaved trees by 30% thinning of Japanese Cypress stands.  
But, In the condition of vegetative cover of undergrowth in the Cypress stands along the forest road opened before 7 years, it should attempt to make mixed stand of conifers and broadleaved trees by belt cutting with several meter width along the contour line.
- 3) In the Japanese Cedar stands of thinned 30% before 5~10 years, It was increased the quantity of undergrowth, but arboreal broadleaved trees was not so increased. So that, it should attempt to make mixed stand of conifers and broadleaved trees by 30% thinning every 5 years.
- 4) Soil type of Japanese Cypress stands and Japanese Cedar stands and Japanese Pine stands wear moist type of brown forest soil except for Japanese Pine stands (slightly dry type of brown forest soil). It was not happened to be carried away of the topsoil by thinning and selection cutting. So that, it was necessary the thinning and selection cutting for the intrusive broadleaved trees and healthy forest management.

#### はじめに

河内長野市の府営滝畑ダム上流の水源林約300ヘクタールは樹齢40~50年生を主としたスギ・ヒノキの人工林であるが、水源かん養機能等多面的機能も重視した森林として管理していくための適切な施業技術が求められている。水源かん養機能等多面的機能に優れた森林は広葉樹林を最良とされているが、広葉樹林化を図るためにはスギ・ヒノキ人工林を皆伐しなくてはならない。しかし、スギ・ヒノキ人工林を皆伐した場合には、一定期間であるにせよ伐採によって林地が裸地状態になるため表土が流亡し、土壤保全上好ましくない。

そのため間伐あるいは択伐により広葉樹の侵入促進を

図る必要がある。筆者らは和泉葛城山ブナ林周辺のスギ・ヒノキ人工林での調査から、立木密度が1000本/ha以下にならないと高木種の広葉樹が成立しにくい<sup>1)</sup>という結果(第1表)を得ている。しかし、本調査地のある岩湧山は和泉葛城山と同じ表層地質が和泉層群ではあるが、地形的に急峻であるという点で異なっていること、和泉葛城山のように山頂部にブナ林がなくほとんど人工林であることから、どのような森林形態で広葉樹の自然侵入がおきるのか明らかでない。

そこで、岩湧山南面の河内長野市千石谷私有林において植生調査を行い広葉樹の侵入状況から間伐、択伐による針広混交林化の可能性を調査した。

第1表 和泉葛城山人工林の立木密度と下層植生 (1991;伊藤, 榎, 高原, 川井)

調査地番号	1(ヒノキ)	2(スギ)	3(ヒノキ)	4(スギ)	5(スギ)	6(スギ)	7(ヒノキ)	8(スギ)	9(ヒノキ)
立木密度(本/ha)	3,339	472	3,136	7,548	684	2,502	543	1,048	3,203
高木層植被率(%)	90	50	80	90	80	90	80	90	90
低木層植被率(%)	0	60	0	0	40	1	30	0	0
草本層植被率(%)	1	15	1	1	50	60	50	100	50
出現種数	11	35	23	7	41	36	56	36	33
広葉樹高木種数	0	6	2	0	5	1	6	7	6

## 調査方法

### 1. 林相区分と母樹となる高木性広葉樹の分布調査

2000年撮影の河内長野市有林地地域航空写真から針葉樹林と広葉樹林を分類し、図形ソフトAdobe illustrator (Ver.10)を用いて林相区分のポリゴンを作成した。

林相区分を行った航空写真上で広葉樹を識別するとともに、現地踏査により母樹となりうる高木性広葉樹の樹種の判読と分布状況を調査した。

なお、母樹となりうる高木性広葉樹の分布は、現存するヒノキ・スギ林下の下層植生の種類が母樹に由来するものであるかどうか、さらにはヒノキ・スギ林を間伐・択伐したとき将来混交林となる高木性広葉樹の種子の供給が図られるかどうか判断するためである。

### 2. 調査林の設定

河内長野市市有林のヒノキ林, スギ林, 台風被害による無立木地の18林分, 7年前に開設された林道沿いの4林分, 下層植生の比較のためアカマツ林2林分の調査林を設定した。

これらの調査林分を, 5年以上前に30%間伐したヒノキ林(以下ヒノキ林A)5林分, 3年前に30%間伐したヒノキ林(以下ヒノキ林B)7林分, 5~10年前に30%間伐したスギ林5林分(うち1林分はヒノキがわずかに混交), アカマツ林2林分, 台風被害の無立木地1林分, 林道沿いのヒノキ林4林分(うち2林分はアカマツとの混交)の6タイプに区分した。

### 3. 調査林の毎木調査, 下層植生調査および照度測定

各調査林において10m×10m(=100m<sup>2</sup>:斜面積)のコドラートを取り, コドラート内の上層木の毎木調査(胸高直径, 樹高, 本数)と下層植生調査(Brawn-branquetによる植生調査または植物相Floraの調査)を行った。調査林の毎木調査はプロット番号No.15を除く19林分において行い, 下層植生調査はプロット番号No.01からNo.20までの20プロットに林道沿いの4プロットを加えて行った。

照度測定は, 各コドラートの4隅と中央部, および林外の全天空下において, 照度計(ミノルタ デジタル照度計T-1H)を用いて地表から1.5mの高さの照度を

測定し, コドラート内5地点の平均照度と全天空下3地点の平均照度から林内の相対照度を計算した。測定は林道沿いの4プロットを除く20プロットで行った。

### 4. 地形調査, 土壌調査

間伐による表土の流亡が起きていないかどうかを確かめるため, 各コドラートにおいて斜面方位, 傾斜角を調査するとともに, コドラートの中心部に幅60cm, 深さ90~110cmの土壌断面を作成して, 林野土壌調査法に基づき土壌断面調査を行った。また, 土壌断面のA層, B層から土壌を採集し, 土壌酸度(pH)と電気伝導度(EC)を測定した。

## 結果および考察

### 1. 林相区分と母樹となる高木性広葉樹の分布

河内長野市滝畑千石谷の林相は, 約90%がスギ・ヒノキ人工林で概ね40~60年生であった。広葉樹林は5%(市有林域ではほとんど見られなかった)を占め, 伐採・植林を行うと崩壊の危険性がある中腹の急斜面の谷付近に位置していた。残りの5%がアカマツ林で, その位置は主稜線から直角方向に流れる尾根付近にあった。アカマツ林は乾燥が激しい尾根付近に残されていたものと思われた。

母樹となりうる高木性広葉樹の分布についてみると, 沢筋にはオオバアサガラ, ハクウンボク, ウリハダカエデの, 種子の散布可能な成木が散見され, 市有林からは外れていたがケヤキの大木が認められた。このうちオオバアサガラとハクウンボクは重力散布種子あるいは鳥媒種子であり, ウリハダカエデとケヤキは風媒種子である。これらの母樹付近ではオオバアサガラ, ウリハダカエデの幼樹はみられたがハクウンボクとケヤキの幼樹は見られなかった。

尾根筋には市有林境界から北東側の反対斜面に広がる落葉広葉樹林があり, 種子の散布可能な成木となっている高木種にはコナラ, アラカシ, カナクギノキ, ホウノキ, タムシバ, ヤマザクラ, ウワミズザクラ, ウリハダカエデ, ヤマモミジ, イタヤカエデ, マルバアオダモ, ミズキ, モミが認められた。このうちコナラ, アラカシは重力散布あるいは動物移動種子, カナクギノキ, ヤマザクラ, ウワミズザクラ, ミズキ, ホウノキ, タムシバは鳥媒種子, ウリハダカエデ, ヤマモミジ, イタヤカエデ, マルバアオダモ, モミは風媒種子である。この広葉樹林に隣接するスギ・ヒノキ市有林内にはこれらの稚樹, 幼樹が認められた。

また, 岩湧山山頂付近ではコナラ, クリ, カナクギノキ, ホウノキ, タムシバ, リョウブ, ハリギリ(センノ

キ)が認められた。このうちコナラ、クリは重力散布あるいは動物移動種子、カナクギノキ、ハウノキ、タムシバ、ハリギリは鳥媒種子、リョウブははじき飛ばし型風媒種子である。岩湧山頂につながるスギ・ヒノキ人工林内にはハリギリを除いた上記の樹種が、プロットにより多い・少ない、幼樹・稚樹の差はあるが、認められた。

各所の尾根筋に小面積に分布するアカマツ林内には上記の広葉樹の多くが認められたが、種子を散布できるほどの大きさにはなっていないかった。

以上のことから、岩湧山頂およびそれに連なる尾根筋には高木性の広葉樹が分布し、それらの広葉樹の種子散布型は鳥媒散布型が多いことから母樹として利用される可能性が期待できた。

## 2. 調査林の毎木調査結果および下層植生

調査したスギ・ヒノキ人工林の現況総括表を第2表に示す。

立木密度は、ヒノキ林Aでは1534~2309本/haで平均1805本/ha、ヒノキ林Bでは1440~2771本/haで平均2112本/ha、スギ林では985~1732本/haで平均1452本/ha、アカマツ林では532本、1545本で平均1039本/haであった。ヒノキ林AとBの立木密度の違いは、ヒノキ林BのなかのNo.05の1林分が2771本/haと大きい値であったことが影響しており、この林分を除けば差がなかった。

スギ林で立木密度の値が小さかったのは、植栽密度はヒノキと同じでもスギは成長がヒノキに比べて早いため、10年より前に既に間伐が行われたため密度が低かったのではないかと思われた。アカマツ林は天然林であり、No.01の林分では立木密度532本/haで胸高断面積合計は74.02m<sup>2</sup>/ha、No.04の林分では同様に1545本/ha、55.14m<sup>2</sup>/haとなっており、No.01のアカマツが大径木であったことがわかり、樹齢の違いが現れたものと思われる。

この地域の人工林は、概ね1955年ごろから1965年ごろにかけて植栽されたスギ・ヒノキ林である。当時は河内林業の習慣として1ha当たり10,000本前後の苗木を植栽し、15年生前後から除伐、間伐を本数率20~30%で行ってきたものと思われる。しかし、1980年前後から間伐材が売れなくなり、林業労働力も減少・高齢化のため間伐を行うことが少なくなり、1ha当たり3,000本ぐらいになってからは全く手の入らない人工林になっていたものと思われる。

相対照度は、平均でヒノキ林Aが6.0%、ヒノキ林Bが2.9%、スギ林が4.0%、アカマツ林が4.7%であった。このうちヒノキ林Aが高い値であったが、これはNo.03のヒノキ林が12.9%という値になったためであり、アカ

マツ林で低い値になったのは、No.01の林分には広葉樹の亜高木層が80%の植被率で生育していたため陽光が遮られ、2.8%の値になったためである。なお、立木密度と相対照度の関係は見られなかった。林床へ届く陽光の量は、日中の積算照度が必要であり、一時の相対照度だけでは量り得ないのかもしれない。それは、後述するが、林道沿いの林地で下層植生が多く侵入していたことからもうかがわれる。

第2表から各層の植被率を見ると、ヒノキ林Aは高木層82.0%、亜高木層0.0%、低木層5.0%、草本層5.9%で、同様にヒノキ林Bでは84.3%、0.0%、0.1%、8.7%、スギ林では67.0%、0.0%、27.0%、46.0%、アカマツ林では65.0%、40.0%、60.0%、17.5%、台風被害無立木地では0.0%、0.0%、5.0%、80.0%、林道沿いの林地では73.8%、0.0%、67.5%、37.5%であった。なお、アカマツ林と林道沿いの林地で低木層の植被率が草本層の植被率を上回ったが、これは低木層の植被率が高くなると草本層まで陽光の届く量が少なくなり、草本層の植被率が低く抑えられた結果と思われる。

この下層植生の植被率から、ヒノキ林AではNo.20の林分が比較的林道に近かったことから、低木層が25%、草本層が15%と大きな値になったため平均値も大きくなった。No.20の値を除いた値から見る限り、ヒノキ林AとBでは亜高木層、低木層、草本層には差がなく、間伐後の年数に違いはあっても広葉樹の植生の侵入は期待できないと考えられる。しかしスギ林は、亜高木層は認められないが低木層、草本層ともに高い値になっており、間伐後の年数には5年前から10年前という差はあるが、広葉樹の侵入が進んでいる様子が見てとれた。スギ林がヒノキ林より広葉樹植生の侵入が多いのは、スギは枝の立条性(上方垂直方向に伸びる性質)が強く、間伐した後木と木の間が枝葉の生長によって塞がれるのが遅くなり、梢の間を通過して林床まで届く陽光の量が多いのではないかと思われる。これに対してヒノキでは枝の立条性があまり強くなく水平方向に伸びるため、間伐後2、3年もすると木と木の間は塞がってしまっ、陽光が林床まで届かなくなってしまうのではないかと思われる。それに対して、アカマツ林や台風被害跡の無立木地では陽光が林床まで十分に届くため、下層植生が多くなったと考えてよいであろう。

一方、7年前に開設された林道沿いのプロットでは低木層、草本層ともにアカマツ林より高い植被率であった。この理由は、開設した林道側から樹幹部を通過して側方からの陽光が多く入ってくるためと思われる。

以上のことから、ヒノキ林においては30%程度の間伐を5年おきに繰り返すより、等高線方向に幅数mの択伐

を行うことが広葉樹との混交林化を進める上で良い方法であると考えられた。スギ林においては30%の間伐を5年おきぐらいに繰り返せば十分に広葉樹との混交林化が図られるものと考えられた。

低木層と草本層の植被率について立木密度との関係はヒノキ、スギ、アカマツと樹種によって偏りはあるが、立木密度が低くなるにしたがって植被率は高くなるように見受けられたが、明らかではなかった。

ヒノキ林やスギ林を広葉樹との混交林とするためには、広葉樹の高木種が必要、不可欠である。また、それらの広葉樹が陽性の樹種であるか陰性の樹種であるかも重要である。さらに、それらの樹種の種子がどのような散布型であるかによって広葉樹林化を図る範囲が限定されてくる。そこで、出現樹種の高木性、陽性・陰性、種子散布型について検討した。以下では侵入した下層植生の樹種の違いについて検討した。

下層植生として高木種はモミ、パッコヤナギ、ヤマナラシ、コナラ、クリ、アラカシ、ホウノキ、カナクギノキ、ヤマザクラ、ウラジロノキ、ユクノキ、ヤマモミジ、イタヤカエデ、エンコウカエデ、ウリハダカエデ、アワブキ、コシアブラ、クマノミズキ、リョウブ、ハクウンボク、マルバアオダモ（以上広葉樹で20種）がみられた。

中高木種はタムシバ、シラキ、ソヨゴ、ヤブツバキ、タカノツメ、エゴノキ（以上6種）であった。

出現した樹木類のうち高木性の種数はアカマツ林と林道沿いで7種、次いで皆伐地で6種、順にヒノキ林B（4.6種）、スギ林（3.2種）、ヒノキ林A（3種）であった。これに中高木、小高木まで含めるとアカマツ林が11種、林道沿いが10.6種、皆伐地が9種、ヒノキ林Bが7.9種、スギ林が5.6種、ヒノキ林Aが5.4種となった。これらから、高木種の出現種数が多いのは林道沿いの林地、アカマツ林および台風被害跡の無立木地であった。このことから、高木性広葉樹との混交林化を図るためには、スギ林においては30%を越す間伐が、ヒノキ林においては帯状間伐あるいは択伐が必要と考えられた。

第3表に下層植生出現種の陽性・陰性および各種子散布型の種数および割合を示す。出現した広葉樹全てについて陽光に対する要求度の高い陽樹、要求度の低い陰樹、中庸である中庸樹に分けてみると、アカマツ林と台風被害跡の無立木地と林道沿いの林地で陽樹の種数、割合ともに高い結果となった。これに対してヒノキ林Aとヒノキ林Bとスギ林では陰樹・中庸樹が種数、割合とも高い結果となった。このことも陽光が林床まで到達しやすい林分で陽樹の比率が高いことを示している。

第2表 調査林地の現況総括表

調査地 番号	斜面 方位 (°)	傾斜 角 (°)	高木層 樹種	高木 本数 (本)	立木 密度 (本/ha)	胸高断面 積合計 (m <sup>2</sup> /ha)	相対 照度 (%)	高木層 植被率 (%)	亜高木層 植被率 (%)	低木層 植被率 (%)	草本層 植被率 (%)	下層木			
												高木層 (種)	中高木層 (種)	広葉樹計 (種)	
ヒノキ林 (5年以上 前に30%間 伐した林)	No.02	S62W	18	ヒノキ	15	1577	87.63	7.8	75	0	0	3	5	2	20
	No.03	S64W	12	ヒノキ	15	1534	63.12	12.9	75	0	0	7.5	6	2	17
	No.09	S12E	30	ヒノキ	20	2309	76.01	4.4	80	0	0	2	2	1	13
	No.18	S 8E	40.5	ヒノキ	12	1578	70.58	3.6	90	0	0	2	1	0	12
	No.20	S40E	33	ヒノキ	17	2027	77.21	1.4	90	0	25	15	1	3	25
					<b>1805</b>	<b>74.9</b>	<b>6.0</b>	<b>82.0</b>	<b>0.0</b>	<b>5.0</b>	<b>5.9</b>	<b>3.0</b>	<b>1.6</b>	<b>17.4</b>	
ヒノキ林 (3年前に 30%間伐し た林)	No.05	S25W	30	ヒノキ	23	2771	88.00	3.8	90	0	0	2	5	2	15
	No.06	S55E	15	ヒノキ	14	1440	66.85	1.0	90	0	0	2	4	2	14
	No.07	東北東	10	ヒノキ	19	1929	66.52	1.7	80	0	0	2	6	2	13
	No.12	S 3E	20	ヒノキ	20	2128	85.98	3.1	80	0	0	5	8	2	13
	No.13	N75W	33	ヒノキ	19	2265	76.53	2.8	80	0	0	10	4	3	17
	No.14	S 0	27	ヒノキ	19	2132	54.61	7.2	80	0	1	40	2	5	14
No.16	西南西	45	ヒノキ	15	2121	73.53	1.0	90	0	0	0.1	3	1	9	
					<b>2112</b>	<b>73.1</b>	<b>2.9</b>	<b>84.3</b>	<b>0.0</b>	<b>0.1</b>	<b>8.7</b>	<b>4.6</b>	<b>2.4</b>	<b>14.9</b>	
スギ林 (5~10年 前に30%間 伐した林)	No.08	東北東	10	スギ	16	1625	83.20	1.7	65	0	5	60	3	2	19
	No.10	S50E	38	スギ・ヒノキ	10	1269	64.85	6.4	60	0	10	30	4	2	21
	No.11	S43W	24	スギ	9	985	69.39	4.5	60	0	30	30	8	2	32
	No.17	S65E	30	スギ	15	1732	92.65	3.9	70	0	40	90	1	0	7
	No.19	S12E	38	スギ	13	1650	75.52	3.4	80	0	50	20	0	2	13
					<b>1452</b>	<b>77.1</b>	<b>4.0</b>	<b>67.0</b>	<b>0.0</b>	<b>27.0</b>	<b>46.0</b>	<b>3.2</b>	<b>1.6</b>	<b>18.4</b>	
アカマツ林	No.01	S40W	20	アカマツ	5	532	74.02	2.8	70	80	70	5	6	3	31
	No.04	S16W	25	アカマツ	12	1545	55.14	6.7	60	0	50	30	8	1	27
					<b>1039</b>	<b>64.6</b>	<b>4.7</b>	<b>65.0</b>	<b>40.0</b>	<b>60.0</b>	<b>17.5</b>	<b>7.0</b>	<b>2.0</b>	<b>24.0</b>	
台風被害 無立木地	No.15	S42W	46	ケヤキ苗	0	0	100	100.0	0	0	5	80	6	1	19
					<b>0</b>	<b>0.0</b>	<b>100.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>5.0</b>	<b>80.0</b>	<b>6.0</b>	<b>1.0</b>	<b>19.0</b>	
林道沿いの 林地	No.03'	S64W	15	ヒノキ					75	0	60	50	4	3	24
	No.3,6間1	南西	10	アカマツ・ヒノキ					70	0	80	20	9	2	20
	No.3,6間2	南西	12	アカマツ・ヒノキ					60	0	90	20	8	2	22
	No.06'	S55E	18	ヒノキ					90	0	40	60	7	2	21
								<b>73.8</b>	<b>0.0</b>	<b>67.5</b>	<b>37.5</b>	<b>7.0</b>	<b>2.3</b>	<b>21.8</b>	

第3表 下層樹木の陽光要求度と種子散布型の種数

林相	陽光要求度			種子散布型		
	陽樹種数 (%)	陰樹種数 (%)	中庸樹種数 (%)	鳥媒種子種数 (%)	風媒種子種数 (%)	重力散布種子種数 (%)
ヒノキ林A	3.5 (19.5)	6.8 (40.7)	7.3 (39.8)	12.3 (66.3)	3.3 (20.0)	0.8 (4.4)
ヒノキ林B	4.1 (29.1)	3.7 (26.8)	7.0 (44.1)	10.0 (66.9)	3.0 (19.2)	1.1 (9.2)
スギ林	3.0 (11.5)	5.0 (29.2)	10.4 (59.2)	12.6 (73.3)	4.4 (25.6)	0.2 (1.2)
アカマツ林	9.5 (39.4)	4.0 (16.4)	10.5 (44.2)	15.0 (66.7)	6.5 (28.9)	1.0 (4.4)
無立木地	7.0 (36.8)	4.0 (21.1)	8.0 (42.1)	15.0 (78.9)	3.0 (15.8)	1.0 (5.3)
林道沿林地	9.3 (43.1)	4.0 (18.3)	8.5 (38.7)	16.8 (76.9)	3.8 (17.4)	1.0 (4.7)

また第3表から、どのタイプの林分においても鳥媒種子の割合が70%前後におよんでいて、林分タイプによる差はみられなかった。しかし、種数でみると林道沿いの林地、アカマツ林、台風被害跡の無立木地で若干多い傾向が見られた。この鳥媒種子を持つ広葉樹が多いということは、母樹の種子の散布が多種かつ広範囲におよぶということから、間伐あるいは択伐による広葉樹の侵入の可能性が十分あると考えてよいであろう。

なお、風媒種子はアカマツ林で多くみられ、重力散布型種子はスギ林で非常に少なかった。これは、スギ林は山腹の中腹以下に立地するため、尾根筋に重力散布型種子をもつブナ科樹木の母樹があっても、谷の方まで落下してくることが少ないという位置的なことに由来するものであろう。

4. 地形調査, 土壌調査

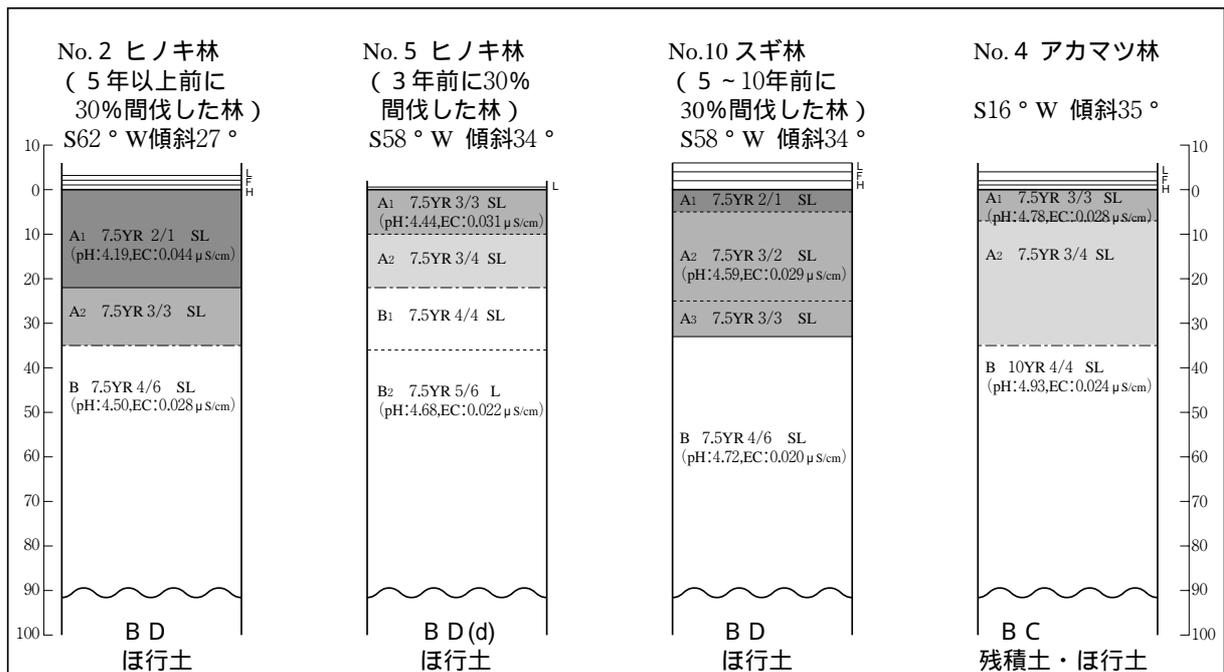
第1図に4タイプ(ヒノキ林A, ヒノキ林B, スギ林, アカマツ林)の土壌断面図を示す。

調査した10プロットはすべて山腹に位置し、傾斜は18°~35°の範囲にあり、概ね30°前後の急傾斜の場所であった。堆積タイプは、ヒノキ・スギ林はすべて山腹に位置し“ほ行土”であった。小尾根部のアカマツ林は“残積性のほ行土”であった。土壌型はすべて黄色系褐色森林土で、アカマツ林が弱乾性褐色森林土であったほかは適潤性褐色森林土であった。これは傾斜の緩急とは関係なかった。

ヒノキ林ではA0層(有機物層)は少なく、スギ林、アカマツ林では少し多かった。しかし、A層(腐植層)は20~30cmの深さまであり、雨水の表層流により流亡している様子は認められなかった。以上から、高木層植被率が60%を超えている林内では直接雨滴が土壌表面をたたかず、表土流亡が起きなかったものと考えられた。

また、A層のpHは3.93~4.78の範囲にあり、B層(下層)では4.50~4.93の範囲にあった。この値は弱酸性の値であるが、いずれの調査地もA層はB層よりわずかであるが低い値を示し酸性が強くなっていった。これはA0層の中に含まれる腐植から有機酸が出ているためではないかと思われるが、原因は不明である。

ECの値はA層が0.027~0.069 μS/cm, B層が0.020~0.028 μS/cmであった。いずれの調査地もA層のECがB層を上回っていた。ECは土壌の栄養状況の指標と考えられることから、このことから表層土の流亡は生じていないことがうかがわれた。



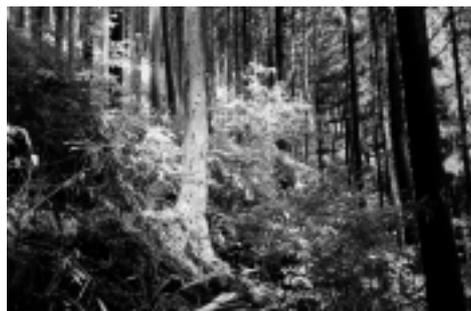
第1図 各タイプの林地の土壌断面図



5年以上前に30%間伐したヒノキ林



3年前に30%間伐したヒノキ林



5～10年前に30%間伐したスギ林



アカマツ林



台風被害無立木地



林道沿いのヒノキ林内

写真1 6タイプの林地の下層植生の侵入状況

## ・摘要

- 1) 間伐実施時期の異なるヒノキ、スギ人工林、台風被害による無立木林地、開設後7年経過した林道沿いの人工林において植生調査を行い広葉樹の侵入状況から間伐、択伐による針広混交林化の可能性を調査した。
- 2) 尾根筋には高木性広葉樹の母樹が分布しており、地域内林分への種子の散布の可能性が示唆された。
- 3) 5年以上前に30%間伐したヒノキ林と3年前に30%間伐したヒノキ林では30%の間伐を行っても下層植生の植被率小さく、高木性広葉樹も陽性樹種も少なく、間伐による広葉樹との混交林化は期待できないと考えられた。しかし、7年前に開設された林道沿いの林地での下層植生の繁茂状況から、等高線方向に幅数mの択伐を行えば広葉樹との混交林化を図

ることが可能であると考えられた。

- 4) 5～10年前に30%間伐したスギ林では、下層植生の植被率は高くなり、高木性広葉樹の種数は少ないが、30%の間伐を5年おきぐらいに繰り返せば広葉樹との混交林化が図られるものと考えられた。
- 5) ヒノキ林2タイプ、スギ林、アカマツ林の土壌はアカマツ林（弱乾性褐色森林土）を除いて適潤性褐色森林土で、間伐に伴う表土の流亡は認められなかった。

## ・引用文献

- 1) 伊藤孝美・榎幹雄・高原光・川井裕史（1991）. 和泉葛城山ブナ林周辺の植生と森林構造．大阪農技セ研報27：5～13

## 食品製造副産物を用いた高密度乳酸菌培養と乳牛への給与効果

平康博章・藤谷泰裕・瀬山智博・笠井浩司・西村和彦・三枝尚洋\*・中野長久\*

### High Density Culture of Lactic Acid Bacterium by Utilizing Food Waste and Effect of Lactic Acid Bacterium Administration on Milk Cows

Hirofumi HIRAYASU, Yasuhiro FUJITANI, Tomohiro SEYAMA, Kouji KASAI, Kazuhiko NISHIMURA, Naohiro MIEDA\* and Nagahisa NAKANO\*

#### Summary

The lactic acid bacterium, *Lactobacillus plantarum* (NBRC3070) was cultured in the solid media made by food wastes. The fermented media contained over  $1.0 \times 10^9$  cfu/g of the *L. plantarum* and was preferred by lactating milk cows. The *L. plantarum* administrated to the lactating milk cows suppressed the increase of IL-1, IL-6 and GGT, values which are considered as markers of latent inflammation. Furthermore the administration significantly decreased BUN and MUN concentration and improved serum total protein content. These data suggest that the *L. plantarum* can ameliorate inflammation and protein metabolism of lactating milk cow.

#### はじめに

平成17年度に閣議決定された新たな「食料、農業、農村基本計画」<sup>1)</sup>に掲げられた食糧自給率の向上のためには、飼料自給率の向上が不可欠である。また平成19年の「食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律」(食品リサイクル法)改正<sup>2)</sup>により食品廃棄物の再生利用率の基準が強化され、食品製造副産物の飼料利用が重要な課題となっている。食品製造副産物の飼料化および保存性向上の方法として、乾燥よりも低コストな発酵によるサイレージ化が注目されているが、家畜の嗜好性、保存性の高い高品質な食品製造副産物サイレージの生産には有用微生物を添加し発酵させることが有効である。

また、大規模集約化の進む畜産経営において、現在、牛の乳房炎をはじめとする感染による家畜の損耗が慢性化しており、生産農家の経済的損失が大きなものとなっている。これらは抗生物質等の抗菌剤や治療薬により対処されているが、近年は食品の安全性への関心が強まっており、投与薬物の残留や抗生物質長期投与による耐性菌発生の懸念を払拭するために、安全で、損耗防止につながる免疫賦活効果を持つ機能性飼料の開発が強く求められている。

最近、乳酸菌等の微生物が動物の腸内細菌叢の調整効果を有することに加え<sup>3)</sup>、乳酸菌の細胞壁に含まれる1,3-グルカンが動物に対して免疫賦活効果や抗ストレス作用<sup>4,5)</sup>を持つことが明らかになったことから、乳酸菌の有用性が改めて注目されている。そこで、本研究では、食品製造副産物を利用して、安価に乳酸菌を高密度に増殖させる技術を開発する。また乳牛への乳酸菌の給与試験を実施して乳牛への健康増進・免疫力向上効果を検証する。

#### 材料および方法

##### 1. 食品製造副産物を利用した乳酸菌高密度培養(実験1)

豆腐粕(事業所から排出されたものに酵母・グルコースを噴霧<sup>6)</sup>して保存したもの)、キャベツ屑、廃シラップ(栗のシラップ漬の残さ)、小麦ふすま(飼料用)を原料に用いて培地を作製した。豆腐粕・小麦ふすま・シラップをオートクレーブ(120・20分)して滅菌し、キャベツ屑はミキサーで粉碎して流動状としたのち85・30分加熱して殺菌した。クリーンベンチ内で、これらの原料を混合し固形培地とした。乳酸菌は糖分を主な栄養

第1表．乳酸菌増殖用培地の原料割合（重量％）

	シラップ	豆腐粕	野菜屑	ふすま
培地1	0	49	5	46
培地2	4	45	5	46
培地3	20	37	5	38
培地4	50	19	5	26
培地5	100	0	0	0

源として増殖するが、高濃度の糖分は水分活性の低下による生育阻害を招くことから<sup>7,8)</sup>、最適な糖分の添加割合を検討するために第1表のようにシラップの配合割合を変えて5種類の配合の培地を作成した。水分含量は小麦ふすまで調整して50%に統一した。乳酸菌 *Lactobacillus plantarum* (NBRC 3070) をMRS液体培地 (BD社) で前培養後、 $5.0 \times 10^7$  cfu/gとなるように固形培地に添加し、滅菌ポリ袋に入れて真空パックして嫌気状態で遮光、24℃で静置培養した。

24時間後、培地中の乳酸菌生菌数を、MRS寒天培地 (BD社) を用いてコロニーカウント法で測定した。また、28日間にわたって同様に培養を行い、培地のpHをTwin pHメーターB-212 (堀場製作所) で、有機酸 (乳酸、酢酸、蟻酸、プロピオン酸、酪酸、イソ酪酸、吉草酸、イソ吉草酸) 濃度をHPLC (LaChrom Elite 有機酸 (BTB法) 分析システム, HITACHI) で測定して培地の変化を検討した。

## 2．高密度発酵飼料調製の実証と乳牛への嗜好性試験 (実験2)

実験1で確立した乳酸菌培養方法によって、実用化を視野に入れて第2表のような条件で非滅菌環境でスケールアップした発酵飼料調製の実証試験を行った。実験1の結果からシラップ4%の配合割合で総重量20kgとなるよう飼料原料を混合し、発酵原料の滅菌程度により、乳酸発酵が優位になるか検討を行った。条件1, 2には50mlのPBSに懸濁した *L. plantarum* を  $5 \times 10^7$  cfu/gとなるよう添加した。条件3は乳酸菌を添加しない場合の対照サンプルとした。それぞれを2重にしたプラスチック袋に詰め、掃除機で内部の空気を抜き、24℃で48時間にわたって培養を行った。

発酵終了後、乳牛への嗜好性試験により、飼料としての適性を調べた。乳酸菌給与と試験に使用した牛とは別の泌乳牛5頭に対して、条件2で調製した乳酸菌発酵飼料とその原料である小麦ふすまの比較、または乳酸菌発酵飼料と日常給与している固形配合飼料 (ハイフレックふじ, 日本配合飼料株式会社) を比較するために、それぞれ150mlカップ1杯分ずつ同時に供試牛の飼槽中央から左右それぞれ50cmの位置に提示し、採食行動を1分間

第2表．乳酸発酵飼料の調製条件

条件1	原料を滅菌後、乳酸菌を植菌
条件2	原料を滅菌せず乳酸菌を植菌
条件3	原料を滅菌せず、植菌もしない

観察した。また飼料を与える位置を反転させて、延べ10頭分の試験結果を得た。

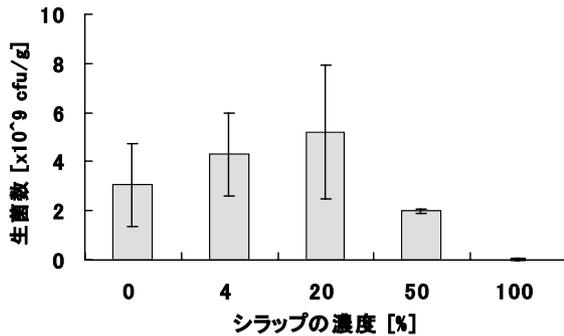
## 3．泌乳牛に対する高濃度乳酸菌の給与効果 (実験3)

泌乳ステージ中～後期の乳牛5頭に対して、実験1, 2で使用した乳酸菌 *L. plantarum* の給与の影響を調べた。MRS液体培地で培養・増殖させた *L. plantarum* を遠心して回収し、生菌数が  $1.0 \times 10^{10}$  cfu/mlとなるよう生理食塩水に溶解して14日間毎日16時に経口給与した。給与量は給餌量10kgあたり100mlとした。すなわち生菌  $1.0 \times 10^{10}$  cfu/mlを飼料の1%与えた。給与開始日から給与終了7日後まで、乳 (朝・夕の搾乳時) と血液 (朝1回) を週1回採取して、乳生産性に対する影響、免疫能や健康状態に対する影響を調べた。乳成分は生乳検査所に測定を依頼した。血中のIL-1, IL-6はELISA (BIOSOURCE Immunoassay Kit) によって測定し、その他の項目はフジフィルム社ドライケム (DRI-CHEM3500V) で測定した。乳については給与開始7日前にも採取し、給与期間終了後も搾乳の可能な4頭 (No.2~5) については給与開始日から98日間、乳を14日間隔、血液を7日間隔で採取した。

## ．結果および考察

### 1．食品製造副産物を利用した乳酸菌高密度培養 (実験1)

培養24時間後、*L. plantarum* は、培地中のシラップの割合が0~50%の間では  $1.0 \times 10^9$  cfu/g以上の密度に増殖した (第1図)。これは現在良質とされるサイレージ中の乳酸菌数  $1.0 \times 10^7$  cfu/g ~  $1.0 \times 10^8$  cfu/gを上回るものである。シラップ20%での培養においては最高  $3.2 \times 10^{11}$  cfu/gの生菌密度が得られた事例があった (Data not shown)。シラップ50%では4%以下のものよりも増殖が低下し、シラップのみを培地としたときには乳酸菌生菌は検出できなく ( $1.0 \times 10^5$  cfu/g以下) になった (第1図)。シラップ4~50%の間に乳酸菌増殖に最適な配合割合があることが推察された。シラップ50%以上での増殖低下の理由には、水分活性の低下が菌の生育を妨げたことに加え、他の原料由来の栄養素 (微量元素等) が不足したことも考えられる<sup>7,8)</sup>。



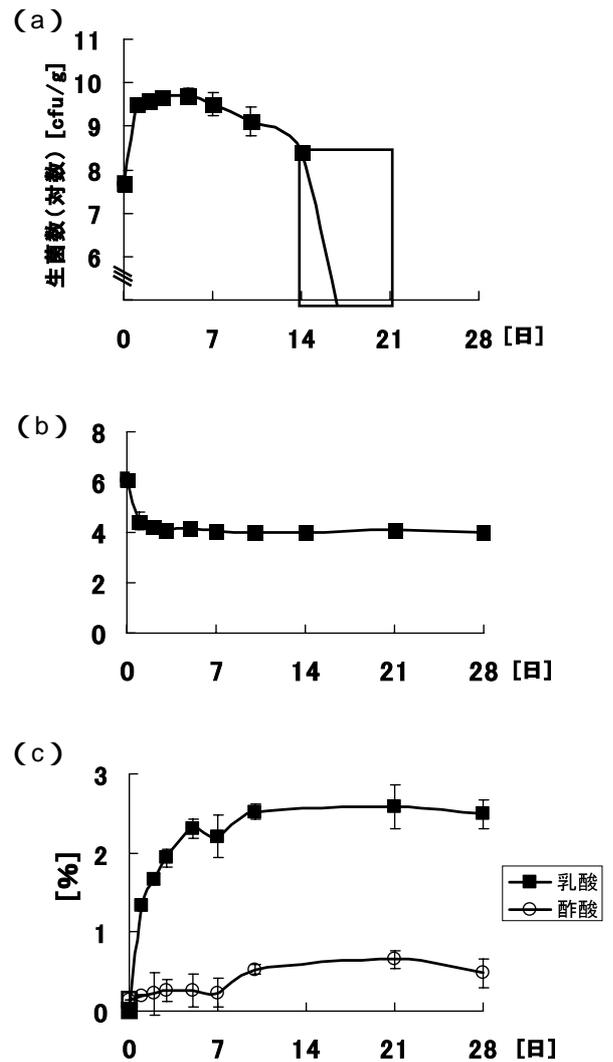
第1図．培地へのシラップ添加濃度と乳酸菌の増殖

シラップ4%の配合で28日間の培養を行った結果、培養7日間は菌数(生菌数)は高密度を維持したが、10~14日後から菌数(生菌数)が急激に低下し、21日後には $10^5$ cfu/g以下になった(第2図a)。このことから、この培養条件では、培地が高密度の乳酸菌生菌を含む飼料として利用できるのは調製後10日頃までであることが明らかになった。培地のpHは3日目には4.0まで低下した(第2図b)。培地中の有機酸は、乳酸、酢酸が10日前後まで上昇を続け乳酸優勢で、その他の有機酸は検出されなかった(第2図c)。これらのことから、この乳酸菌発酵培地を飼料として利用するとき、発酵日数を調節することにより、家畜に対して生菌の効果あるいは有機酸の効果を選択的に引き出すことが可能であることが示された。

2. 高密度発酵飼料調製の実証と乳牛への嗜好性試験(実験2)

*L. plantarum*を添加した条件1, 2では24時間後にMRS寒天培地上のコロニーカウント数が $10^9$ cfu/gに達した(第3図a)。有機酸測定の結果、培地処理条件における乳酸と酢酸の生成比率は同様のパターンを示し、培地の原料を殺菌処理するかしないかにかかわらず乳酸発酵が優勢となることが明らかになった(第3図b)。乳酸菌無添加の条件3でも48時間後には菌数が $10^9$ cfu/gに達したが、条件1, 2より乳酸の生成が少なく酢酸の生成が多く、pHも高い値を示した(第3図b)ことから、乳酸発酵が不十分であることが確認された。しかし、フリーク法による評価では、条件1・2は100点、条件3は90点で、乳酸・酢酸を除く酸はいずれの培地からも検出されず、今回使用した食品製造副産物を原料とすることによって乳酸菌を添加しなくとも良好な発酵飼料が調整できるという評価になった。今後、添加した*L. plantarum*が飼料の品質および家畜への給与効果に及ぼす影響を詳細に検討する必要がある。

嗜好性試験の結果、小麦ふすまに対して、乳酸菌発酵飼料は先に摂食される傾向にあり、嗜好性が高いと判定された。市販の配合飼料と比較した場合、観察時間内に

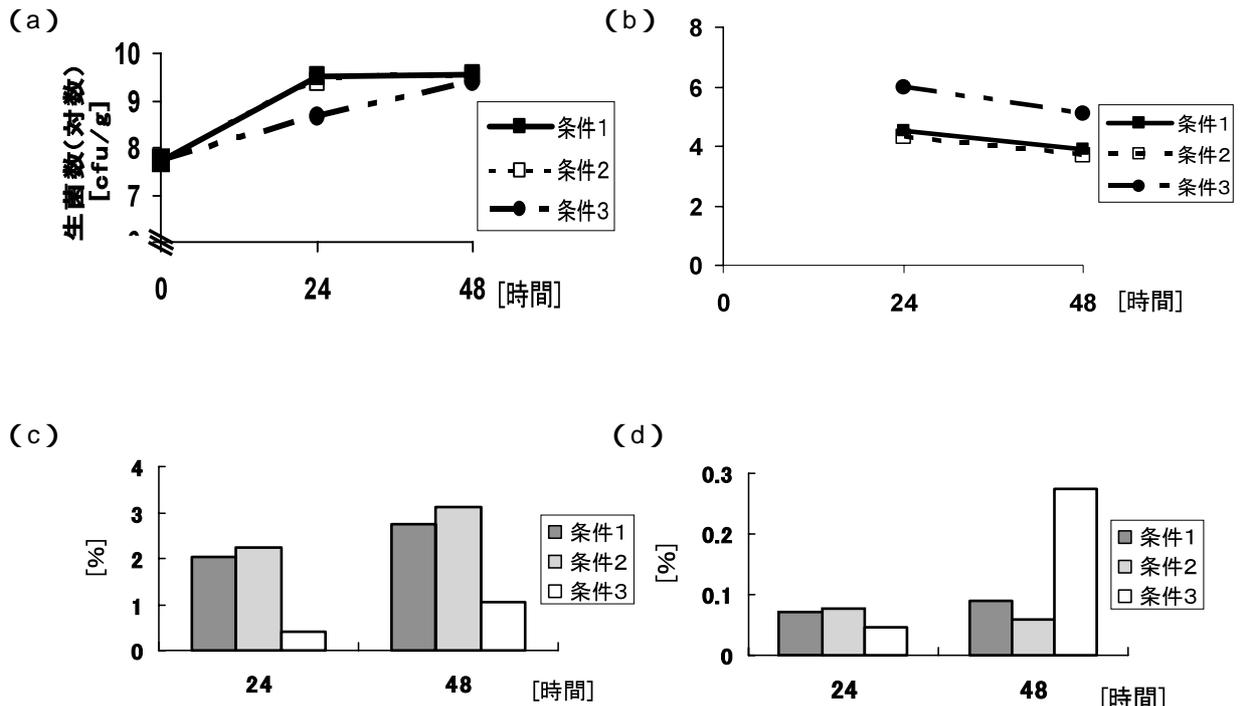


第2図．乳酸菌の長期間培養における培地中の  
(a)菌数、(b)pH、(c)有機酸濃度の変化

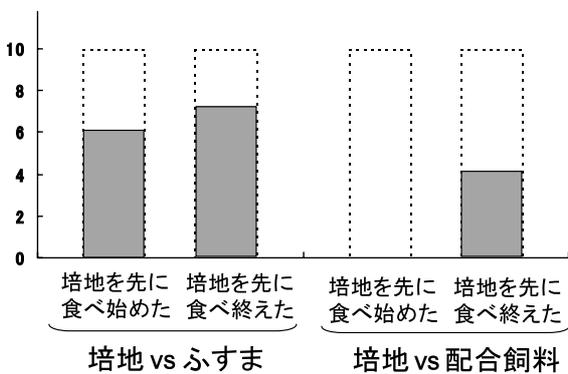
40%が完食し、飼料原料としての嗜好性は問題ないと判断できた(第4図)。

### 3. 泌乳牛に対する高密度乳酸菌の給与効果(実験3)

農林水産省の定める乳牛の乳房炎検査項目には乳汁中体細胞数、塩素量等があるが<sup>9)</sup>、本研究では乳汁中体細胞数を測定した。乳酸菌給与終了後も91日目まで乳房炎の診断基50万個/mlを超えた個体はなかった。試験期間が暑熱ストレスのかかる梅雨~夏季(6月~9月初旬)であったにもかかわらず、体細胞数の増加抑制に効果があったことが期待されるが、乳酸菌給与の前後における変化は顕著でなく、今回の結果からは乳酸菌給与が乳房炎発症予防に直接関与したかは明らかにならなかった(第5図a)。また強い炎症や組織の壊死によって上昇する急性炎症性タンパク質CRP<sup>10)</sup>も高値を示さなかった(第6図a)。今回の研究では、各種の炎症によって増加し、CRPに先んじて上昇する炎症性サイトカインIL-1b,

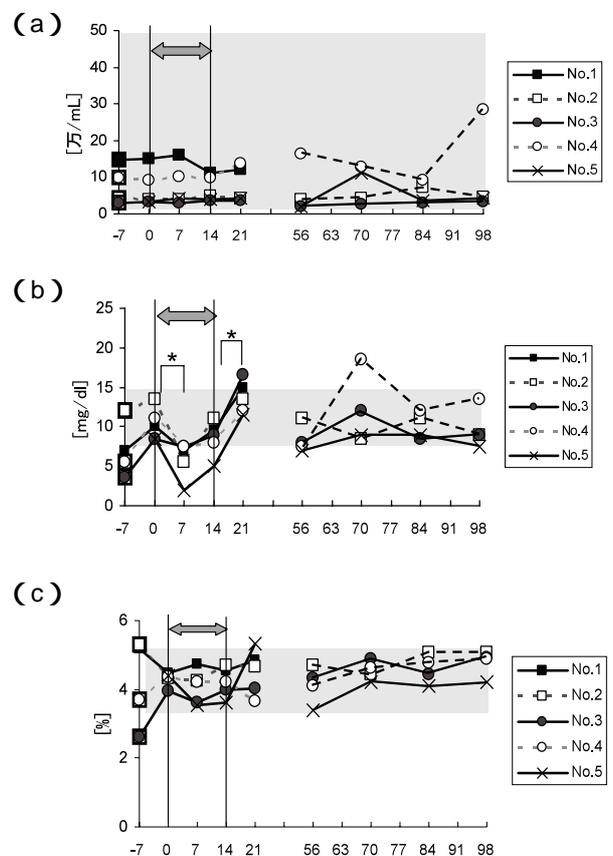


第3図．発酵飼料中の (a)生菌数, (b)pH, (c)乳酸, (d)酢酸



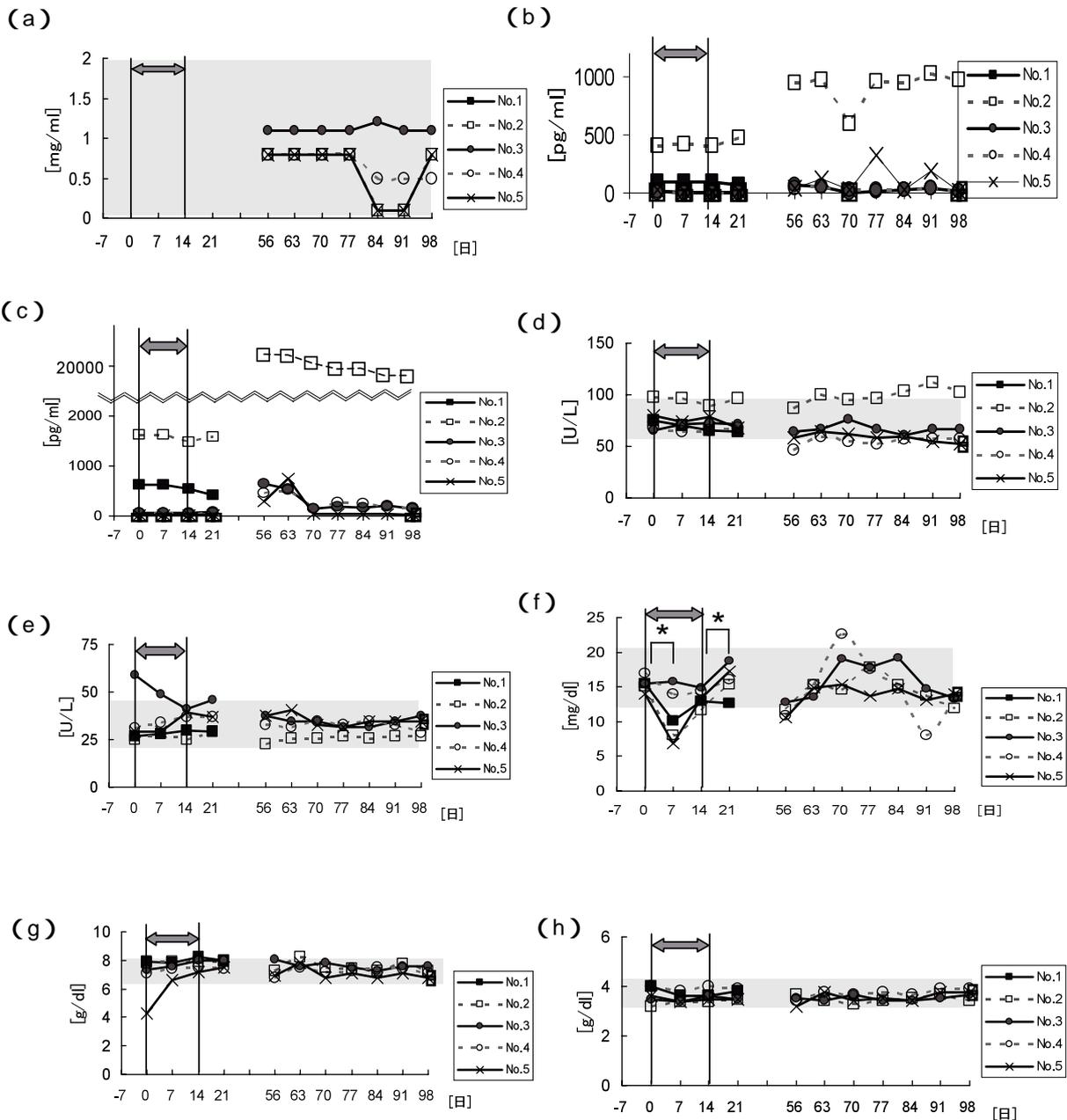
第4図．乳酸菌発酵飼料(培地)の嗜好性試験

IL-610)についても測定した．これらは給与期間中低位で推移したが、56日目以降に牛群の一部の個体で上昇するなど変動がみられ(第6図b, c), 特にIL-6は56-70日のNo.3やNo.5にみられるように乳汁中体細胞数が上昇するよりも1週間程度先んじて上昇する動きを示すことがあった．このことから、IL-1, IL-6は乳房炎等の臨床症状としては表れない軽度の炎症・ストレスの指標としての可能性が期待された．個体NO.2は試験期間を通じて、IL-1, IL-6が他の個体よりも高い値を取っていた．NO.2は肝臓の炎症や損傷によって上昇するGOT<sup>11)</sup>の値もやや高値を示しており(第6図d), 何らかの炎症・ストレスによる負荷があったと考えられた．この個体は試験期間中、乳房炎や外傷による感染症の症状



第5図．泌乳牛の乳生産性に対する乳酸菌給与の影響

(a) 乳汁中体細胞数, (b) MUN, (c) 乳脂率  
No.は個体番号, 両矢印は乳酸菌給与期間, 編掛け部は生理的範囲の目安を示す．



第6図．泌乳牛の血中成分に対する乳酸菌給与の影響。

(a)CRP, (b)IL-6, (c)IL-1, (d)GOT, (e)GGT, (f)BUN, (g)総タンパク質, (h)アルブミン。  
No.は個体番号, 両矢印は乳酸菌給与期間, 編掛け部は生理的範囲の目安を示す。

は見られなかったが、最終分娩後（試験開始7ヶ月前）に子宮内膜炎および子宮蓄膿症を発症しており、その影響が残っていた可能性がある。乳酸菌給与以前のIL-1、IL-6は測定していないが、No.2のIL-1、IL-6が乳酸菌給与終了後の観察期間に高い値を示したことから、乳酸菌給与が抗炎症作用やストレス緩和作用を示しIL-1、IL-6の上昇を抑えていたことが考えられる。GOTと同じく肝臓の炎症で上昇するGGT<sup>11)</sup>が乳酸菌給与前にNo.3

で高かったが、給与後正常範囲に移行した（第6図e）ことから、*L. plantarum*が乳房炎等の臨床症状には表れない軽度の炎症・ストレス負荷の軽減効果をもつことが期待できる。

また、反芻胃内のタンパク質の代謝状態を示すMUN<sup>11)</sup>が乳酸菌給与7日で有意に減少（One-way repeated ANOVA, Tukey法, [P<0.05], 以下同じ）した。給与7日目から14日目にかけては若干上昇したが有意な変

化ではなく、給与終了後1週間経過した21日目には14日目に比べて有意に上昇した(第5図b)。BUNもMUNと同様に推移し、給与1週間で有意に減少し、給与終了後に有意に上昇した。また観察期間を通じて大きく変動した(第6図f)。このことから、ルーメン内の微生物活性の変動は大きく、その変動は比較的短い間隔であると考えられる。本試験では給与後に乳酸菌の働きによりルーメン中の窒素化合物が分解吸収されて一時的にMUNが下がったと考えられる<sup>12)</sup>。したがって、ルーメン内の消化・発酵のバランスが崩れて尿素態窒素濃度が高まっているとき、本実験のように高濃度の乳酸菌を給与することで瞬時にタンパク質代謝を改善できる可能性が見込めた。全身の短期的なタンパク質代謝状態を示す血中の総タンパク質は個体No.5で給与開始時に低かったが、給与1週間後から正常値に近づき、供試牛群におけるばらつきも有意(等分散のF検定, [P<0.05], 以下同じ)に減少した(第6図g)。このことから、*L. plantarum*給与が、ルーメン内微生物活性と窒素代謝のバランスを調節して、タンパク質代謝を改善することが期待できることが示唆された。長期的なタンパク質代謝の状態を示すアルブミンは変動しなかった(第6図-h)。

乳脂率については、乳酸給与前に低値であったNo.3の値が上昇し、給与期間の2週間にわたり、供試牛群において乳脂率のばらつきが給与前に比べて有意に小さくなった。給与終了後は、供試牛群において乳脂率のばらつきが再び有意に大きくなった。(第5図c)。このことから、*L. plantarum*がルーメン内の微生物活性を調整して、乳脂率を高位正常域に安定させたことが考えられる。乳量、乳中無脂固形分、乳タンパク質率、乳糖、また血中の電解質、血糖値、総コレステロール、カルシウム、リンの値は試験期間中、泌乳生理範囲内の値で推移し、大きく変動しなかった(Data not shown)。

以上の結果から、豆腐粕、キャベツ屑、廃シラップを含む培地で乳酸菌*L. plantarum*を高濃度に増殖させ、良質なサイレージとして利用できること、また、この乳酸菌は乳牛の健康維持に対する効果が期待できることが明らかになった。本研究では乳酸菌は食品製造副産物中で $1.0 \times 10^9$  cfu/gのオーダーまで増殖したが、MRS液体培地による乳酸菌培養では乳酸菌は $1 \times 10^{10}$  cfu/g以上に増殖する<sup>13)</sup>。そのため食品廃棄物を用いた固体培地においてさらに高密度に増殖させるため、原料の配合比率、微量栄養素、pH調整等<sup>8,14)</sup>今後条件検討の余地がある。乳酸菌の給与試験に関しては、今回は元々良好な飼育管理の下、試験期間中乳房炎等感染症の発症の可能性が低い牛群での試験であった。今後、供試牛を増やした大規模試験や乳房炎等感染症発生リスクの高い牛群での試験等を

行うことで乳酸菌の感染症に対する効果が解明できることが期待される。

本研究はJST産学共同シーズイノベーション事業顕在化ステージ、事業名「乳酸菌等による牛の乳房炎等防疫効果発現の解明」の一部として行ったものである。

## ．摘要

合成培地に比べて安価な食品廃棄物を用いて、乳酸菌*L. plantarum*を $1 \times 10^9$  cfu/g以上含み乳牛の嗜好性の良いサイレージを安定的に調製できる技術を開発した。これは現在良質とされているサイレージ中の乳酸菌数 $1.0 \times 10^7$  cfu/g ~  $1.0 \times 10^8$  cfu/gを上回るものである。また*L. plantarum*の泌乳牛への給与によってMUN, BUNが有意に低下し、血中総タンパク質量や肝臓のGGT値が改善した個体が見られたことから、この乳酸菌がタンパク質代謝の調整等の効果を持つことが期待できる。

## ．引用文献

- 1) 農林水産省(2007). 食料, 農業, 農村基本計画.
- 2) 食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律.
- 3) 光岡知足(2001). 乳酸菌, 腸内フローラと健康 - 海外における最近の研究成果と今後の展望. 食品工業. 44: 17~45.
- 4) 宿前利郎.(2000). 真菌 -1,3-グルカンの構造と生物活性. 薬学雑誌. 120: 413~431.
- 5) Yoshizawa M, Yokoyama K, Nakano Y, Nakamura H. Protective effects of barley and its hydrolysates on gastric stress ulcer in rats. Yakugaku Zasshi. 2004 Aug;124(8):571-5.
- 6) 西村和彦・奥村寿章・崎元道男・亀岡俊則(2002). 豆腐粕へのワイン酵母と糖の散布による飼料化. 大阪府立農林技術センター研究報告. 38: 42~49.
- 7) 金子勉・森田英利・阿部敬悦・内田金治・山本直之・森下隆(1996). 乳酸菌の科学と技術. 学会出版センター. 89~132.
- 8) 高橋治男(2004). 食品のストレス環境と微生物 その挙動と検出. サイエンスフォーラム. 161~171.
- 9) 農林水産省経済局(2005). 家畜共済における臨床病理検査要領. 全国農業共済協会. 329.
- 10) Simon, L., Gauvin, F., Amre, D.K., Saint-Louis, P., Lacroix, J. (2004). Serum procalcitonin and C-reactive protein levels as markers of bacterial infection: a systemic review and meta-analysis. Clin. Infect. Dis.

- 39:206-17.
- 11) 岡田啓司(2001). 生産獣医療システム 乳牛編3 . 農村漁村文化協会 . 25~65.
- 12) Sannes, R.A., Messman, M.A., Vagnoni, D.B. (2002). Form of rumen-degradable carbohydrate and nitrogen on microbial protein synthesis and protein efficiency of dairy cows. *J.Dairy.Sci.*85:900-908.
- 13) Lavermicocca, P., Valerio, F., Evidente, A., Lazzaroni, S., Corsetti, A., Gobbetti, M. (2000) Purification and characterization of novel antifungal compounds from the sourdough *Lactobacillus plantarum* strain 21B. *Appl. Env.Microb.*66:4084-4090.
- 14) Ohara, H., Hiyama, K. and Yoshida, T. (1992) Non-competitive product inhibition in lactic acid fermentation from glucose. *Appl.Microbiol.Biotechnol.*36:773-776.

# 熱融着性ポリエステル繊維を用いた固化培地で育苗した 花壇苗の特性

豊原憲子・山田英嗣・松下美郎

## はじめに

大阪府の花壇苗生産は、消費地に直結した産地としてこれまで順調に生産量を伸ばしてきた。しかし、近年になって花壇苗の需要は停滞傾向に陥り、単価の下落を招いている。この結果、経営規模が小さく、価格面での競争が難しい生産者が多い府の花壇苗生産は、2000年に全国14位の生産量であったのに対し、2004年には28位となった。また併せて、花壇苗生産農家戸数が半減して産地の崩壊が懸念される事態となっており、新たな需要創出策が強く求められている。

熱融着性ポリエステル繊維を用いて培地を固化する技術は、生産者が通常使っている栽培用土に特殊な繊維を混ぜて熱処理をすることでスポンジ状に固めることのできる新たな技術である<sup>1)</sup>。従来とほとんど変わりなく栽培できるうえに、培地の形状が長期間にわたり安定して、鉢などの容器がない条件でも土がほとんど流亡しない。また、培地を自由な形に成型できることから、これまでにない花壇苗の使い方が期待できる。

本報告では、この技術で固化した培地（以下、固化培地）で育苗した花壇苗の栽培技術と、固化培地の特性であるポットを用いない利用技術を検討するための基礎調査として、肥培管理について、肥効調節型肥料の栽培初期一発施肥による肥効期間内の生育、開花状況を従来のポット苗と比較した。さらに、水分条件の過酷な特殊緑化場面での利用を想定し、一般的な園芸用培地に対して水分保持能力が低い軽量培地を支持体として苗を植え付けた場合の、苗由来の培地の含水率変化を計測して保水特性を考察した。

## 材料および方法

### 1. 固化培地が肥効調節型肥料の肥効に及ぼす影響

試験に用いた固化培地は、体積比でピートモス60%、パーライト20%、パーミキュライト20%を混合した用土に体積比3%の熱融着性ポリエステル繊維を混和して3号ポリポット内に250mLずつ充填し、熱処理を行って作成した。また、熱融着性ポリエステル繊維を含まず、熱

処理を行っていない同体積比の混合培地（以下、無固化培地）を同ポットに充填したものを対照区とした。

培地への施肥は、花壇苗への施肥基準を参考に、肥効調節型被覆肥料（商品名：ロングトータル花き1号、N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O:13-16-10）140日タイプをポットあたり3g（12g/L）、6g（24g/L）の2水準とした。固化培地にはハサミで切り込みを入れ、その中に肥料を挿入し、無固化培地にはスプーンで培地内に肥料を挿入した。

供試植物としてペチュニア「パカラ・ピンク」を用いた。2007年4月29日にピートモス主体のは種専用土を用いて406穴セルトレイには種し、無加温ガラス温室内でミストかん水により育苗した。同年5月20日に3号ポリポットに入った固化培地および無固化培地にこの苗を移植し、ガラス温室内の底面給水マット上にポットを置いて、1日2回の給水により栽培した。第1花の開花が始まった同年6月13日に草丈、株径、開花株率について調査した。

### 2. 固化培地によるポットレス栽培条件が高温期のペチュニア花壇苗の生育、開花に及ぼす影響

2007年6月13日、試験1で用いた苗のうち、12g/L施肥区の苗について、固化培地はポットを取り除き、無固化培地はポットに入れたままの状態です屋外底面マット給水システム上に20cm間隔で配置した。苗は1日2回の底面給水で管理し、高温期の生育、開花状況を調査した。底面マット給水システムはアスファルト上に底から防水用ビニル、保水用不織布、防根シートの順に重ねて作成した。調査は2週間毎に草丈、株径、葉色（SPAD値）、花数について行った。

### 3. 固化培地の水分特性

2007年6月22日には種し、固化培地および無固化培地で栽培したピオラ「ビビ・フロスティブルー」の苗を、10月15日に以下に示す10Lの土壌を入れた60cm幅プランターに2株ずつ定植した。定植土壌は物理性の違いによる乾きやすさを評価するために、パーライトの配合割合を3段階に設定し、パーライト20%、ピートモス60%、パーミキュライト20%混合（育苗培地と同一組成）、

パーライト50%，ピートモス37.5%，パーミキュライト12.5%混合およびパーライト100%とした。プランターは無加温ビニルハウス内に設置した。定植から4日間1日2回のかん水を継続してプランター内の土壌に十分に吸水させた後、10月19日からかん水を停止し、定植土壌および苗に由来する固化培地、無固化培地の水分変化について、体積含水率計測用誘電率土壌水分センサー（デカゴン社製：ECHOプローブEC-5）を用いて30分間隔で計測した。

## 結果

### 1. 固化培地が肥効調節型肥料の肥効に及ぼす影響

ポット育苗終了時、無固化培地と比較して固化培地で育苗した苗の草丈は有意に小さかった。また、有意差は認められないが、固化培地で株径が小さく、開花が遅れた。固化培地と無固化培地の生育差は施肥量を多くすることでは改善されなかった。固化培地、無固化培地とも施肥量が多い条件で開花が遅れた（第1表）。

第1表 ポット育苗時のペチュニアに及ぼす培地固化の影響

	施肥量	草丈±標準偏差 (cm)	株径±標準偏差 (cm)	開花率 (%)
対象培地	12g/L	16.8±1.4	18.0±3.4	83.3
	24g/L	16.8±3.7	18.1±4.6	50.0
培地固化処理	12g/L	13.1±2.0*	16.7±1.7	58.3
	24g/L	12.9±2.7*	16.3±4.0	41.6

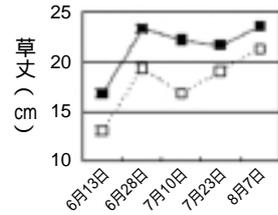
品種：ペチュニア「バカラ・ピンク」

肥料：肥効調節型被覆肥料ロングトータル花き1号(13-16-10 140日タイプ)  
2007年4月30日は種、5月25日移植、6月13日調査 試験区あたり12株を供試  
固化した培地は肥料の土壌への混和が困難なため、全試験区とも用土内部に肥料をスプーンで挿入した。

\*：同施用量の対照培地に対し、1%の危険率で有意

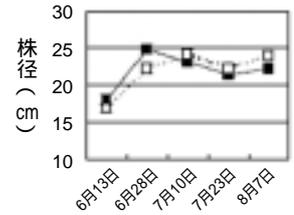
### 2. 固化培地によるポットレス栽培条件が高温期のペチュニア花壇苗の生育、開花に及ぼす影響

固化培地によるポットレス苗は、調査開始からしばらくの間、無固化培地ポット苗に対して草丈、株径ともに小さく推移した。しかし、その差は徐々に縮小され、株径は設置から8週後以降に無固化培地ポット苗よりも大きくなった（第1-1、1-2図）。また、固化培地ポットレス苗は定植8週後の調査終了時まで緩やかに開花数が増加し続けたが、無固化培地ポット苗では設置4週まで開花数が増加してその後減少に転じた（第1-3図）。固化培地ポットレス苗ではSPAD値が無固化培地ポット苗よりも高くなった（第1-4図）。



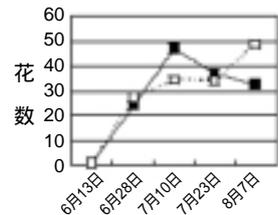
第1-1図 草丈の推移

—■— 対照培地(ポット使用)    -○- 固化培地



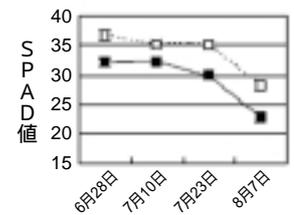
第1-2図 株径の推移

—■— 対照培地(ポット使用)    -○- 固化培地



第1-3図 花数の推移

—■— 対照培地(ポット使用)    -○- 固化培地



第1-4図 図葉色の推移

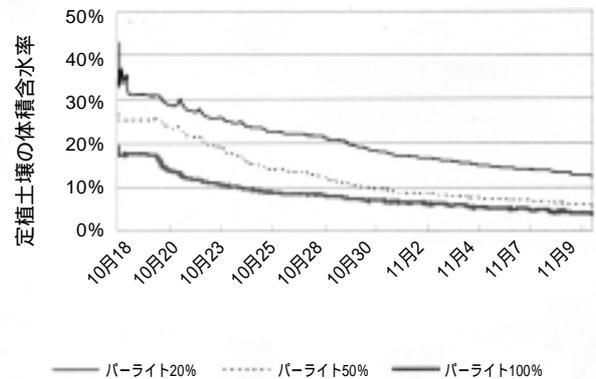
—■— 対照培地(ポット使用)    -○- 固化培地

### 第1図 無固化培地ポット苗に対する固化培地ポットレス苗の長期生育特性

品種：ペチュニア「バカラ・ピンク」

肥料：肥効調節型被覆肥料ロングトータル花き1号(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O：13-16-10 140日タイプ)

2007年4月30日は種、5月25日移植、6月13日にポット苗はポットに入った状態で、固化培地苗はポットを取り外して屋外底面かん水システム上におき、以後一日2回のかん水で維持した。



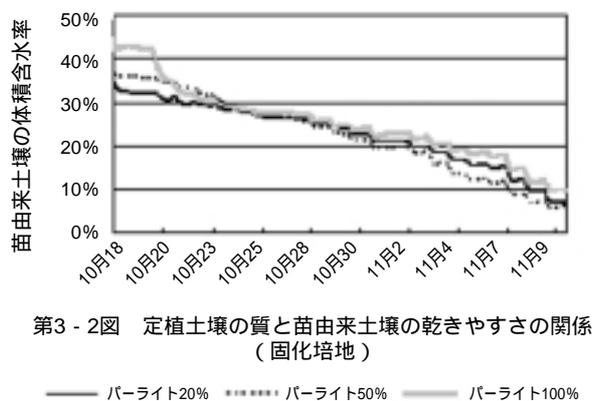
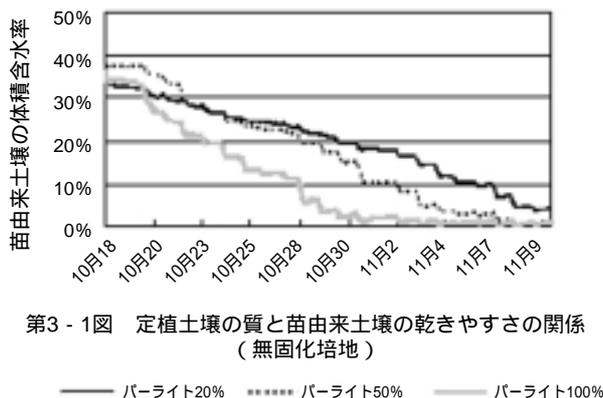
### 第2図 パーライト配合割合の違いが定植土壌の含水率変化に及ぼす影響

10月15日に10Lの定植土壌を入れた60cm幅プランターに固化培地、無固化培地のピオラ苗を一株ずつ定植し、体積含水率計測用誘電率土壌水分センサーにより計測した。

### 3. 固化培地の水分特性

試験に用いた定植土壌の含水率は、パーライトの比率が高いことで低く推移した（第2図）。

無固化培地苗では、パーライトが100%の土壌に定植した場合、かん水停止から10日間で苗由来の培地水分が10%を下回ったのに対して、ピートモスの量が多く、含水率が高く推移したパーライト20%の土壌に定植した場合、同様の水分状態に達するまでに20日を要した（第3-1図）。これに対し、固化培地では、定植土壌の異な



### 第3図 定植土壌の質と苗由来土壌の乾きやすさの関係(固化培地)

10月15日に10Lの定植土壌を入れた60cm幅プランターに固化培地、無固化培地のピオラ苗を一株ずつ定植し、体積含水率計測用誘電率土壌水分センサーにより計測した。

る条件でほぼ同様の減水傾向が認められた(第3-2図)。なお、本試験に供試した苗は植物体が小さく老化した苗であったため、土壌水分が低く安定した後も調査期間中にしおれが見られない状態であった。

## 考察

本研究で用いた固化培地はペチュニアの初期生育を抑制した。しかし、この固化培地で育苗した苗はポットを取り除いて高温条件下で継続して栽培を行うと、従来のポット苗と比較して生育、開花が維持され、葉色が良好に保たれた。これは固化培地をポットレスで利用することで直接気流と接する土壌表面積が増加するために、土壌水分の気化が活発に進んで地温が低下することや<sup>2)</sup>、培地内空気の換気が行われて根域に積極的に酸素が供給されたことなどが作用したものと考えられ、固化培地を用いたポットレス栽培が高温期の植物の栽培管理に有利に働くことが推察された。また、パーライト100%土壌に定植した苗の苗由来培地の含水率変化から、固化培地はその保水特性が周囲の培地など支持体の保水特性に影響されにくく、乾きやすい土壌に定植した場合、固化していない培地よりも乾燥しにくい特性を持つ培地であると考えられた。

本試験で明らかとなった固化培地およびこの培地で育苗した花壇苗の特性は、屋上緑化や壁面緑化における薄層培地のように、緩衝性が低く、水分条件や地温が急激に変化しやすい条件での栽培管理に有益であり、この特性を活かした緑化システムの開発が期待できる。

## 引用文献

- 1) 後藤丹十郎・東 千里・島 浩二・森下照久・藤井一徳・元岡茂治・景山詳弘(2004)．熱融着性ポリエステル繊維で固化した培地を用いたポットレス花壇苗生産の可能性．園学雑．73別(1)：161．
- 2) 後藤丹十郎・大橋佑司・清水 希・森下照久・藤井一徳・石川順也・島浩二(2007)．熱融着性ポリエステル繊維固化ポットレス培地で栽培したパンジーおよびプリムラの生育はウォータースペースで改善される．第1回生物環境工学会大会発表要旨：300-301

# ナメクジの土壌中における生態把握のための試験法の検討

佐野修司・田中 寛・柴尾 学・内山知二

## はじめに

現在、大阪府の農地で見られるナメクジは、ほとんどがチャコウラナメクジ (*Lehmannia valentiana*) である。本種は野菜、果樹、花卉などにしばしば大きな被害を与える難防除害虫の一つである<sup>1,2,3)</sup>。ナメクジの防除が困難である理由の一つとして、地上に出て活動するのは雨天時または夜間にほぼ限られ、好天の昼間はほとんどの個体が植物残渣の下や土中に潜んでいるため、発生生態調査や防除効果判定が容易でないことが挙げられる<sup>4)</sup>。

そこで、ほとんどの時間を過ごすと考えられる土壌中での生態について明らかにすることは、より適切な防除を考える上で基本的な情報となる。特に土壌の理化学性とナメクジの生息状況との関係が明らかになれば、土壌肥沃度の診断データから、ナメクジの発生状況の予測が可能になると思われる。

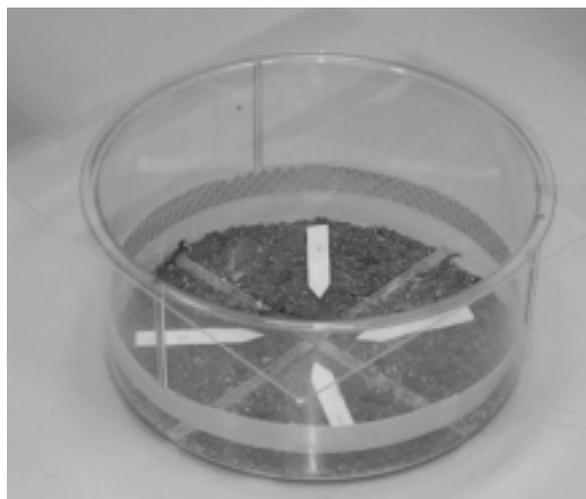
土壌の理化学性とナメクジの発生状況との関係については、酸性土壌を好む傾向があること<sup>5)</sup>が知られている程度であり、ほとんど知見がないのが現状である。これは、野外ではナメクジの生息に影響を与える因子が多く、ナメクジの生息と関連のある理化学性があったとしても、そのみを適切に評価することが困難であるためであろう。よって、対象とする土壌特性以外の要因を出来る限り排除した条件下で、ナメクジの生息との関係を調査することが望まれる。そこで本研究では、ナメクジの生息に適した土壌環境を室内実験で明らかにする方法を確立し、土壌の電気伝導度 (EC) との関係について調査したので報告する。

## 材料および方法

### 1. 実験用ポットの設定

実験用ポット (第1図) は、ナメクジの行動を考慮して設定した。まず、容器には円形プラスチック製水槽 (内径29cm, 高さ15cm) を用いたが、これは角など特定の部分への集中を防止するためである。ナメクジが土中に潜入り観察が不可能になることを防止するために、試験

区の土層は深さ5mmとし、ナメクジが潜っても観察できる深さに設定した。また、試験区間の移動がスムーズに行えるよう、試験区の区切りには5mmのプラスチック角棒を用い、段差や傾斜が生じないようにした。さらに、ナメクジが上部へ移動して逃走することや壁面に滞在する可能性が考えられるので、土面より高さ3cmの壁面に忌避資材であるビスヒドロキシエチルドデシルアミン6%塗布フィルム (以下ナメシート) を貼り付けた。このナメシートは、果樹やハウス内花壇苗栽培においてナメクジの高い侵入防止効果が確認されている<sup>6)</sup>。



第1図 試験に用いたプラスチック製水槽。

底を高さ5mm幅のプラスチック製角棒で仕切った。また、上部への逃走を防止するため、内壁周囲にナメシート (忌避資材) を貼り付けた。なお、各試験区にあるプラスチック製の札は、試験開始後取り除いた。

### 2. 試験設定

試験土壌として、2mmのふるいを通したマサ土 (pH; 6.34, 全炭素量; 0.055%, C/N比; 6.38) を用いた。4段階のECを設定し、土壌に塩化カリウムを風乾土1kgあたりそれぞれ、0g, 0.2g, 2g, 5g加えることにより調整した。それぞれの土壌のEC (土液比1:5) は0.01dS m<sup>-1</sup> (以下1区), 0.1dS m<sup>-1</sup> (以下2区), 0.6dS m<sup>-1</sup> (以下3区), 1.5dS m<sup>-1</sup> (以下4区) であった。1区は造成

農地などで見られる養分をほとんど含まない未熟土のECの値に近く、2区は作物の収穫前後など可溶性養分がほとんど残存していない露地畑，3区は施肥直後の畑，4区は塩類化の進んだハウス土壤に相当する。また，水分含量は最大容水量の70%とした。

供試個体（チャコウラナメクジ）は，環境農林水産研究所内のウンシュウミカンほ場（大阪府羽曳野市）より，2007年7月中旬に採集した。各区に2匹ずつ放し，18時間後の各区の個体数を調査した。試験は8反復で行い，暗所で試験中の温度は20～22度に保った。

### 結果および考察

第1表に，試験開始18時間後における，各区の個体数を示す。壁面や境界のプラスチック角棒上の1個体ずつを除き，すべての個体は土壤の上におり，今回適用した方法は，ナメクジと土壤環境との関係を評価する上で適していると判断できた。

18時間後において，生存個体のほとんどは1区（全生存個体の59%）と2区（同34%）に存在していた（第1表）。一般にナメクジは体内の浸透圧維持のため，塩類濃度の高いところ忌避すると考えられるが，土壤においても同様の傾向が認められた。ただし，今回は塩化カリウムを用いており，野外での土壤溶液中のイオン分布とは必ずしも対応しておらず，イオン種の違いが行動におよぼす影響を検討することで，より土壤中の生態を把握するための情報を得ることができると考えられる。

なお，今回の試験では約半数の個体が死亡していたが，これは今回給餌を行わなかったため，衰弱死したものと思われる。今後この点については，試験時間を短縮するなどの改善を行う必要がある。

以上，ナメクジの生息に適した土壤環境を探る方法を確立でき，土壤中においても塩類濃度の高いところを忌避することが明らかとなった。また，試験条件を改善することでさらに適切な方法になりうると考えられた。今後，様々な土壤特性と生息状況との関係を探ることで，ナメクジの生息密度を推定できるなど，適切な防除を行う上での基礎的な知見を得ることができるとと思われる。

### 引用文献

- 1) 柴尾学・竹村忍・藤川純子・田中寛(2001). 花壇苗における各種害虫の発生消長. 関西病虫研報. 43: 33-34.
- 2) 柴尾学・定幸子・小坂吉則・田中寛(2004). ハウス栽培のコマツナとシュンギクにおける各種害虫の発生消長およびネット被覆と太陽熱利用による防除. 関西病虫研報. 46: 33-38.
- 3) 田中寛・柴尾学(2002). 圃場由来の食品混入害虫. 環境管理技術. 20: 134-142.
- 4) 田中寛・柴尾学・久保田豊(2005). 忌避資材によるチャコウラナメクジの侵入防止. 植物防疫. 59: 49-52.
- 5) 静岡県(2007). 農薬安全使用指針・農作物病害虫防除指針.
- 6) 田中寛・近藤敬・加藤彰宏・内山知二・柴尾学(2001). チャコウラナメクジの忌避資材のスクリーニング方法. 大阪農技セ研報. 37: 23-26.

第1表 試験開始18時間後における各区のチャコウラナメクジの個体数

反復	生存個体				死亡個体				壁面や境界上
	1区	2区	3区	4区	1区	2区	3区	4区	
1	0	5	0	0	1	1	0	0	1
2	6	2	0	0	0	0	0	0	0
3	2	0	2	0	2	1	1	0	0
4	2	2	0	0	1	1	2	0	0
5	2	1	0	0	1	1	0	2	1
6	0	1	0	0	2	0	1	4	0
7	2	0	0	0	1	3	1	1	0
8	2	0	0	0	3	2	0	1	0
計	16	10	2	0	11	9	5	8	2

各区の電気伝導度は，1区0.01dS/m、2区0.1dS/m、3区0.6dS/m、4区1.5dS/mであった。各区に2個体ずつ放し，18時間後に調査した。

# 大阪府内におけるスルホニルウレア系除草剤 (SU剤) 抵抗性雑草の発生状況

深井正清・植田正浩・上田善紀\*・松下美郎

## はじめに

スルホニルウレア系除草剤 (SU剤) は、ヒエ以外の一年生雑草や多年生雑草に卓越した除草活性を示す<sup>1)</sup>ことから、一発処理除草剤の有効成分として全国で広く使用されてきた。ところが1995年頃から北日本を中心にSU剤の効かない雑草 (SU抵抗性雑草) の発生が問題となり<sup>2)</sup>、徐々に全国に広がった。

大阪府内においては、2006年に松原市の水田において初めてSU抵抗性イヌホタルイが確認され、各地域における潜在的な発生が示唆された。そこで、府内におけるSU抵抗性雑草の実態を明らかにするため、発生状況を調査した。

## 材料および方法

### 1. 雑草の発生調査

まず最初に、農家や農業関係者に技術情報を送付する「おおさかアグリメール」を利用して、水田における特定雑草の残草情報の提供を広く呼びかけた。

次に、情報提供等に基づき、2007年6月26日から8月2日までの間、各農と緑の総合事務所および病害虫防除

所と連携し、水稻移植時期の早い北部管内から順に、中部、南河内、泉州各管内の31市町村、63地域において雑草発生の有無を達観調査した。SU抵抗性雑草の発生が疑われる水田 (第1図) については雑草の採取と後日耕種概要等の聞き取りを行った。

### 2. SU抵抗性雑草の検定

採取された雑草は、検定に供することができる大きさまで屋外のポットで生育させた。検定は、発根法ITOKIT<sup>3)</sup>を用いた。すなわち、検体の植物を10cm程度に、根を1.5~2cmの長さに切り揃え、根の土などを洗い流し、次に、薬液を結晶化して封入した50mlの検定チューブにミネラルウォーター12.5mlを加えて、ペンシルフロンメチル濃度を150PPb相当とし、蓋をして手でよく振った後、検体をチューブに挿入した。無処理区は、検定チューブにミネラルウォーターのみを12.5ml加え、検体を挿入した。1筆当たり5検体 (薬剤処理区: 3反復 + 無処理区: 2反復) を使用して、25℃、24時間照明下のインキュベーター内に安置し、処理日の翌日にチューブ30mlのラインまで水を加え、その後減水分を補給し、1~2週間後の新しい発根の有無によって判定を行った (第2図)。

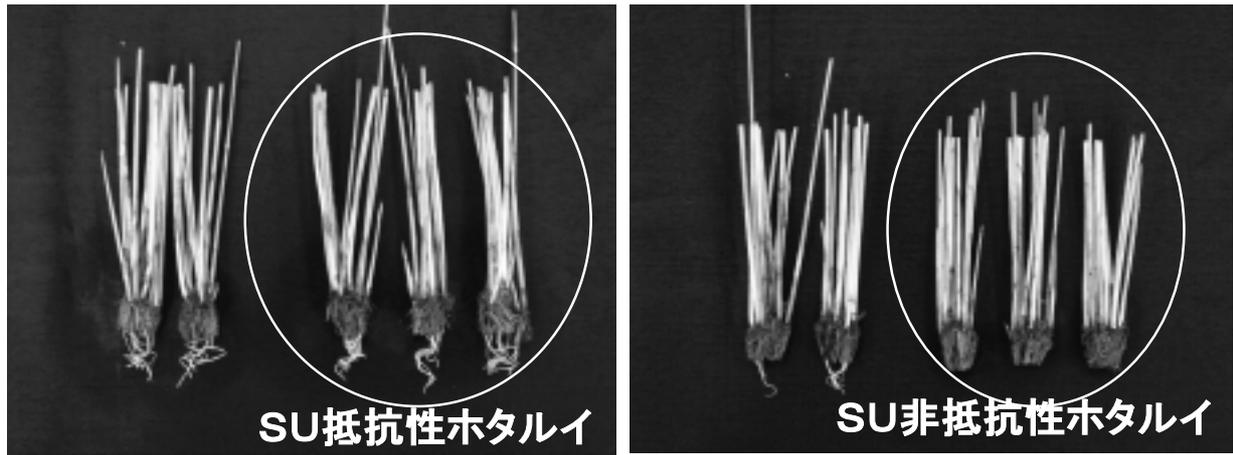


SU抵抗性イヌホタルイ



SU抵抗性コナギ

第1図 水田でのSU抵抗性雑草の発生状況



第2図 発根法によるイヌホタルイの抵抗性検定  
いずれも左（2株）は無処理区、右（3株）は処理区

・結果および考察

1. 雑草の発生調査および検定結果

合計761筆（約128ha）の水田について現地調査を行ったところ、26筆で顕著な残草がみられたので、それらを検定した結果、18筆（7市町）でSU抵抗性雑草（SU抵抗性イヌホタルイ：15筆，SU抵抗性コナギ：3筆）が確認された。SU抵抗性雑草が確認された水田は、北部管内（3市町）と南河内管内（4市町）に多く分布しており、泉州管内では、SU抵抗性雑草の発生は全く確認されなかった。

また、確認された水田の立地状況は、山間部や住宅地など様々であり、水系や土壌など共通要因は見いだせなかった。しかし、能勢町嘉村と河南町馬谷では近接する水田で発生が確認されたことから、発生水田の隣接田や下流水路の水田では、今後発生する可能性があることが推察される。（第1表，第2表，第3図）

2. SU抵抗性雑草発生水田における除草剤使用状況等

SU抵抗性雑草が確認された18筆の聞き取り調査から、SU成分を含む除草剤を使用していた水田は14筆、この内10筆においては過去数年にわたって、SU成分とSU抵抗性雑草対策成分が混合された一発処理剤（以下「対策剤」という。）が使用されていた。

SU抵抗性対策剤を使用したにも拘わらずSU抵抗性雑草が確認された水田について調査したところ、代かきから除草剤処理日まで2週間以上空いていたため、雑草が対策剤の効く葉齢を過ぎていたと推定された事例や、水持ち不良田等、除草剤処理後の水管理が不十分であったと推定された事例など、対策剤の効果が十分に発揮されない処理条件が認められた。これらのことから、対策剤を使用する場合においても、適期施用、施用後の水管理等除草剤使用の基本事項を励行することが重要である

と考えられる。

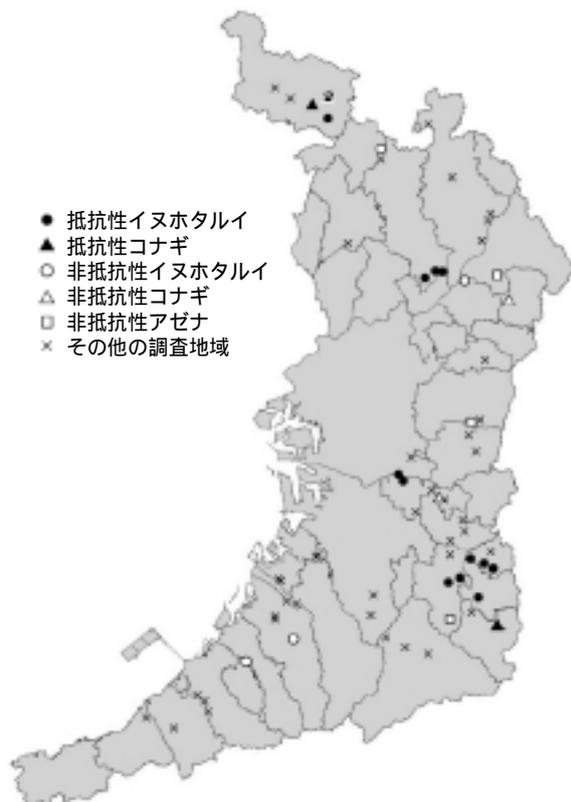
SU抵抗性雑草の拡大防止については、対策剤の使用の他に、SU剤に頼らない初期除草剤と中後期除草剤と

第1表 府内における水田雑草のSU抵抗性検定結果

地域	市町村名	雑草名	検定結果
北 部	豊能町切畑	イヌホタルイ	×
	能勢町野間中, 東郷	イヌホタルイ	
	能勢町嘉村1	イヌホタルイ	
	能勢町嘉村2	イヌホタルイ	
	能勢町嘉村3	コナギ	
	能勢町下田尻	コナギ	
	茨木市野々宮	イヌホタルイ	
	茨木市玉島	イヌホタルイ	
	茨木市沢良宜	イヌホタルイ	
	東大阪市池島	アゼナ	×
中 部	大阪市住道矢田	イヌホタルイ	
	枚方市茄子作	コナギ	×
	交野市星田北	コナギ	×
	寝屋川市木屋元町	イヌホタルイ	×
	松原市三宅西	イヌホタルイ	
	藤井寺市小山	コナギ	×
南河内	富田林市西板持	イヌホタルイ	
	富田林市北大伴	イヌホタルイ	
	富田林市甘南備	アゼナ	×
	太子町山田	イヌホタルイ	
	太子町葉室	イヌホタルイ	
	太子町太子	イヌホタルイ	
	河南町馬谷1	イヌホタルイ	
	河南町馬谷2	イヌホタルイ	
泉 州	河南町上河内	コナギ	
	岸和田市尾生	イヌホタルイ	×
	貝塚市王子新田	イヌホタルイ	×
	SU抵抗性	×	SU非抵抗性

第2表 地域別におけるSU抵抗性雑草発生比率

地域名	調査対象筆数(A)	同左面積(m <sup>2</sup> )	SU抵抗性雑草発生筆数(B)	抵抗性発生比率B/A%
北部	234	494,290	8	3.4
中部	196	282,260	1	0.5
南河内	142	150,230	9	6.3
泉州	189	352,200	0	0
計	761	1,278,980	18	2.4



第3図 SU抵抗性雑草の分布状況

の体系処理や各水田の雑草に応じた除草剤の選択が有効である。

今回の調査で大阪府内においても既に広範囲にSU抵抗性雑草が発生していることが明らかになったので、関係機関、関係団体が情報を共有して拡大防止に努めることが重要であると考えます。

## 引用文献

- 1) 社団法人日本植物防疫協会(2005). 農薬ハンドブック 2005年版(改訂新版). 549
- 2) 内野彰・渡邊寛明・菊池晴志・三浦嘉浩・尾形茂・臼井智彦・吉田修一・谷なつ子・三浦恒子・田口奈穂子・矢野真二・伊藤博樹・新田靖晃(2003). 水田雑草における除草剤抵抗性個体出現頻度の推定. 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構  
<http://www.naro.affrc.go.jp/top/seika/2003/tohoku/to03009.html>
- 3) 吉田修一・伊藤健二・権田重雄(2003). 水田雑草のスルホニルウエア抵抗性簡易検定キットの開発. 平成15年度東北農業研究成果情報.  
[http://tohoku.naro.affrc.go.jp/seika/jyouthou/H15/suitou/h15\\_suitou025.html](http://tohoku.naro.affrc.go.jp/seika/jyouthou/H15/suitou/h15_suitou025.html)

平成19年度  
大阪府環境農林水産総合研究所研究報告編集幹事

<編集幹事長> 日野和裕  
<編集幹事> 服部幸和  
西村和彦  
草刈眞一  
辻野耕寛  
高浦裕司

---

大阪府環境農林水産総合研究所研究報告 第1号

平成20年3月31日発行

発行 大阪府環境農林水産総合研究所

〒537-0025 大阪市東成区中道1丁目3-62

TEL 06-6972-7662

FAX 06-6972-7684

<http://www.epcc.pref.osaka.jp/reaf/>

編集 企画調整部 研究調整課

---

**BULLETIN OF**  
**RESEARCH INSTITUTE OF ENVIRONMENT, AGRICULTURE AND FISHERIES, OSAKA PREFECTURAL GOVERNMENT**

---

**CONTENTS**

[Originals]

Air Purification Ability of Wood .....	Yoshio TSUJINO, Yasuo KIRA and Shinichi SHOUHO .....	1
Measurement of Acidic Gases within Osaka Prefecture Using a Simple Passive Sampling Method .....	Yoshinori NISHIKAWA and Hiroshi HATANAKA .....	6
Measurement of Gaseous Nitrous Acid at Osaka Urban Site .....	Kenji OKA .....	13
Establishment of The Restoration Method of Plants and Insects in The Expo Park .....	Michiaki YAMADA , Yoshiro MATSUSHITA and Wataru ISHII .....	22
The Intrusion of Broadleaf Glove into Japanese Cedar and Cypress Stands Thinned for the Water Resource Cultivation .....	Takami ITO .....	28
High Density Culture of Lactic Acid Bacterium by Utilizing Food Waste and Effect of Lactic Acid Bacterium Administration on Milk Cows .....	Hirofumi HIRAYASU, Yasuhiro FUJITANI, Tomohiro SEYAMA, Kouji KASAI, Kazuhiko NISHIMURA, Naohiro MIEDA and Nagahisa NAKANO .....	34
 [Brief Reports]		
Properties of the Bedding Flower Seedlings that Raised in Media Hardened by Heat Fusion Polyester .....	Noriko TOYOHARA, Eiji YAMADA and Yoshiro MATSUSHITA .....	41
An Evaluating Method of Suitable Soil Condition for the Tree Slug ( <i>Lehmanna ualentiana</i> ) .....	Shuji SANO, Hiroshi TANAKA, Manabu SHIBAO, and Tomoji UCHIYAMA .....	44
Occurrence of Sulfonylurea-resistant Biotypes of Weeds at Paddy Fields in Osaka Prefecture, Japan .....	Masakiyo FUKAI, Masahiro UEDA, Yoshinori UEDA and Yoshiro MATSUSHITA .....	46