

自動車から排出される多環芳香族 炭化水素類の環境大気への影響

泉 川 碩 雄 星 純 也

要 旨

都市におけるベンゾ (a) ピレンなどの芳香族炭化水素類の主要な発生源は、自動車と見られている。しかし、これまでの調査結果では、自動車から排出される窒素酸化物などの濃度分布とは異なり、道路沿道とその後背地での濃度に差がみられないことがある。この原因を解明するため、長期的な平均濃度の把握が可能な土壌を用いた採取器を道路近傍に配置し、これら物質の挙動把握調査を実施した。

調査は、多環芳香族炭化水素類を含まないことを確認した土壌を道路端とその後背地に 50 m 間隔に 4 地点配置し、6ヶ月ごとに 2 年間に渡り、その土壌中の芳香族炭化水素類を測定した。

その結果、1 年目では多環芳香族炭化水素類濃度の道路端からの距離減衰が見られた。ベンゾ (a) ピレンについてみると、50 m 地点は道路端の濃度の 59%、100 m 地点で 48%、200 m 地点で 53% となっている。50 m 地点までの距離減衰が大きいがその後の減衰は緩やかとなっている。

しかし、他の時点では、道路端から 50 m あるいは 100 m 地点が道路端より高い結果となっている。このような結果は、ハイボリウムエアサンプラーを用いた道路周辺の大気中の多環芳香族炭化水素類の測定結果でも見られる現象である。この原因は、さらに研究を重ねないと特定できないが、この地域におけるこれら物質の土壌への負荷が、直近道路からよりもバックグラウンドからの方が大きかったことによるとも考えられる。

また、多環芳香族炭化水素類の組成比からベンゾ (a) ピレンに対するベンゾ (ghi) ペリレンやベンゾ (k) フルオランテン、ピレンの比を見ると、いずれもガソリン自動車の排出ガスの組成から求めた比と類似するものであった。

このことは、多環芳香族炭化水素類による汚染は、自動車排出ガスが主要な発生源であることが推察される。

キーワード：多環芳香族炭化水素、ベンゾ (a) ピレン、自動車排出ガス

Influence of Aromatic Hydrocarbons Exhausted by Vehicles on Atmospheric Environment

Sekio Izumikawa and Junya Hoshi

Summary

A main source of polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs) such as Benzo(a)pyrene (BaP) in the city is considered to be originated from vehicles. As for PAHs, the concentration difference was not seen in the road route and afterwards.

An investigation was carried out by arranging the soil collection apparatus in order to understand the

long-term average density in the road neighborhood to elucidate this cause.

The soil collection apparatus which did not contain PAHs was set up along the road edge and four points away from the road edge at intervals of 50m. PAHs were measured for two years every six months.

As a result, the distance attenuation from the road edge of PAHs was found in the results of investigation of first year.

The concentration of BaP at a point 50m away from the road edge was 59% of the road edge, 100m point was 48% and 200m point was 53%.

The concentrations of BaP were 59%, 48% and 53% of that of road edge, at points 50 m, 100 m and 200 m away from the road edges.

As for the distance attenuation, the distance attenuation afterwards is gradual eventhough 50m point is high. However, 50m point or 100m point away from the road edge gave higher results in other samples than the road edge.

If the research is not continued further, this cause cannot be verified.

However, it is believed that the load to the soil by PAHs and the dependency is from the background, which is larger from a near by road in this region.

Similar phenomenon was observed in the investigation result of PAHs around the road where high volume air sampler was used.

When the ratio of Benzo(ghi)perylene and Benzo(k)fluoranthene and Pyrene to BaP is seen, both resembles the ratio of the exhaust gas of the gasoline vehicles.

As such, it is concluded that main source of PAHs such as BaP in the city is from vehicles.

Keywords: polynuclear aromatic hydrocarbons, Benzo(a)pyrene, exhaust gas of the vehicles

1 はじめに

都市におけるベンゾ(a)ピレン(以下BaPという。)などの多環芳香族炭化水素類(以下PAHsという。)の主要な発生源は、自動車と見られている。しかし、浮遊粉塵中のBaP等を道路沿道とその後背地とで測定した調査結果をみると、福岡等¹⁾が亀戸で実施した調査や小谷野等²⁾が蒲田で実施した調査、我々が研究所周辺で実施した調査³⁾において、道路沿道とその後背地とにそれほど大きな濃度差がなかったことを指摘している。

我々は、これらの調査がハイボリュームエアサンプラーを用いた比較的短時間の結果であったことから、必ずしも十分に汚染実態が把握できていなかったのではないかと考えて、PAHsの長期間の平均的濃度が把握可能な土壌を用いた採取器を道路沿道付近に配置し調査した。

土壌を用いるサンプリング手法を採用したのは、我々が都内60地点でこれまでに実施した土壌中のPAHsの測定において、土壌中のPAHsの成分組成が環境大気中の成分組成と関連が深いことを示す結果⁴⁾を得ていたため

である。

2 調査内容及び方法

(1) 調査内容

ア 試料採取器

PAHsを捕集するための採取器は、プラスチック製の縦35cm、横45cm、高さ12cmの網かごに杉並区高円寺の地下鉄の地下工事現場から得た土壌を厚さ約5cmに入れ作製した。なお、用いた土壌は、PAHs濃度が検出限界以下であることを確認したものである。

イ 試料採取器の設置

試料採取器の設置は、交通量が多い道路と后背地方向に直角に200mの空間が得られる場所を選定し行った。

1994年11月に図1に示した東名高速道路に面した都立砧公園の道路端(地点1)、道路端から50m(地点2)、100m(地点3)、150m(地点4)、200m(地点5)と50m間隔に5地点に設置した。

採取器の設置点の道路は、走行車線が片側3車線の切

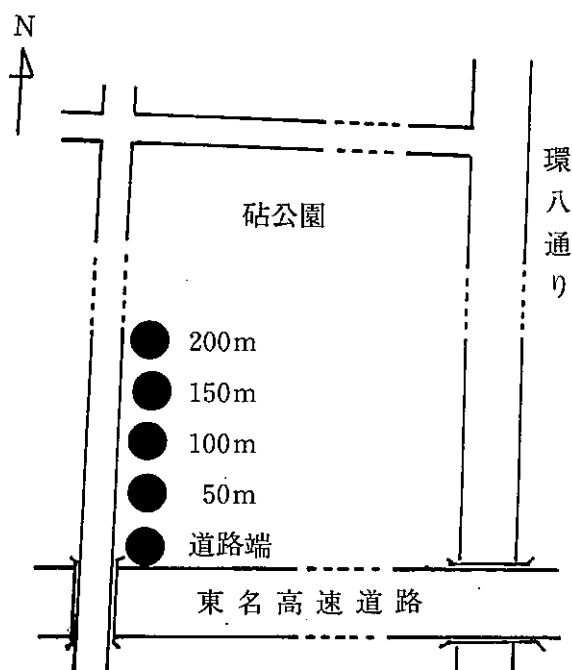


図1 土壌を用いた採取器の設置点

土道路となっている。自動車の走行台数は約30万台/日、車速が100km/hと高速走行車両が多い地点である。

ウ 試料の採取

試料土壌の採取は、採取器の土壌を4等分に分割し、その1分割づつを採取器の設置から6ヶ月目毎に2年間にわたり行った。

エ PAHs濃度の距離減衰調査

採取器を道路から50m間隔に5地点設置し、6か月毎に4回採取した土壌について、PAHsの定量を行い、道路からの距離別の濃度分布状況を径年別に調査した。

オ 土壌中の有機成分の組成分析調査

採取器の設置から2年目の最終回に採取した土壌についてPAHsや脂肪族炭化水素（以下AHCという。）、ニトロ化PAH（以下NPAHという。）、複素環状化合物類（以下HCCという。）の有機成分の定量分析を行った。

(2) 調査方法

ア 試験操作

(ア) 土壌試料の調製

採取した土壌を風乾した後、フルイ(1.19m/m) にかけて、粗大ゴミや石を除去したものを分析試料とした。

分析用試料の採取重量は、110℃で4時間乾燥した、乾燥重量により求めた。

(イ) 土壌中のPAHsの距離減衰調査

① PAHsの抽出

土壌の分析試料2gを10mlの遠心分離管に取り、ベンゼン：エタノール(4：1)を5ml加え、25分間超音波抽出を行う。その後、上澄み液を別の遠心分離管に取り3000rpmで5分間遠心分離処理を行い、上澄み液をPAHsの定量分析試料とした。

② PAHsの定量

PAHsの定量分析試料、0~20μlを蛍光検出器付き高速液体クロマトグラフに注入し分析した。

定量分析を行ったPAH成分は、ベンゾ(a)アントラセン（以下BaAという。）、ベンゾ(b)フルオランテン（以下BbFという。）、ベンゾ(k)フルオランテン（以下BkFという。）、BaP、ジベンゾ(a, h)アントラセン（以下DAという。）、ベンゾ(ghi)ペリレン（以下BgHiPという。）である。これら成分の定量は、1点絶対検量法で行った。

(ウ) 土壌中の有機成分の組成分析調査

① 有機成分の抽出

土壌試料20gを三角フラスコに取り、ジクロロメタン100mlを加え25分間超音波抽出を行った。静置後、上澄み液をろ過する。残渣を更にジクロロメタン40~50mlで洗浄し、ろ過する。ろ液と洗液を合わせKD濃縮器で約4mlに濃縮し、更に窒素ガスを吹き付けてジクロロメタンを除去する。ジクロロメタンを除去後、n-ヘキサン約1mlとベンゼン1滴を加え、残留分を溶解し、これを有機成分の分析試料とした。

② 有機成分分析試料液の分画

有機成分の分析試料液をカラムクロマトグラフ法により4つの画分に分離した。分析試料液をシリカゲルカラムクロマト管の上部に添加し吸着させた後、始めにn-ヘキサン30mlで溶出し、第1画分を得た。以下、n-ヘキサン：ベンゼン(1：1)30mlで溶出し第2画分を、ベンゼン30mlで溶出し第3画分を、ベンゼン：メタノール(1：1)30mlで溶出し第4画分を得た。

③ 第1画分の分析

第1画分にはAHCが含まれる。n-ヘキサン溶出液をKD濃縮器で約4mlに濃縮し、更に窒素ガスを吹き付けながら水浴上で加熱し1mlまで濃縮した。この濃縮液をキャピラリーカラム付きガスクロマトグラフで分析した。

定性は、標準物質との保持時間値の比較で行った。また、定量は各AHCの標準溶液 (500~550 $\mu\text{g}/\text{ml}$) を用いた1点絶対検量法により行った。

④第2画分の分析

第2画分にはPAHsが含まれる。n-ヘキサン：ベンゼン (1：1) 溶出液を第1画分と同様に濃縮操作を行い0.1~0.5mlまで濃縮した。この濃縮液をキャピラリーカラム付きGC/MSのSIM法で分析した。定量は、アセナフチレン、フルオレン、フェナントレン、アントラセン、ピレンについて各標準物質を用いた1点絶対検量法により行った。

⑤第3画分の分析

第3画分にはNPAHが含まれる。ベンゼン溶出液を第1画分と同様に濃縮操作を行い、5mlまで濃縮した。この濃縮液をHPLCの分離カラムの後に還元カラム (1% Pt/Rh (9：1) on 5 μm A $\ell_2\text{O}_3$) を取り付けたHPLCに導入し、ニトロピレンをアミノピレンに還元し、蛍光検出器で測定した。

⑥第4画分の分析

第4画分にはHCCが含まれる。ベンゼン：メタノール溶出液を第1画分と同様に濃縮操作を行い、0.5mlまで濃縮する。この濃縮液をGC/MSのSIM法により分析した。定量は、酸化ジフェニル、フルオレン-9-オン、ジベンゾチオフェン、 β -ナフトキノリン、カルバゾール、アントラキノンについて各標準物質を用いた1点絶対検量法により行った。

3 結果及び考察

(1) PAHs 濃度の道路からの距離減衰調査

ア PAHs 濃度の距離減衰

自動車排出ガス由来の窒素酸化物や浮遊粉塵などの汚染質の濃度は、道路端から50mまでは急激に減少し、50m以降は減衰が緩やかになる距離減衰パターンを示すことが知られている。

今回の土壌を使用したPAHsの距離減衰の結果を図2に示した。

これによると道路端から後背地に向かい濃度が減少する距離減衰は、各PAHsとも2回目採取 (1994年1月~1995年11月まで放置) の土壌に見られている。

2回目に採取した土壌中のPAHsの距離別濃度は、BaPについてみると、地点1が18.2ng/gに対し、地点

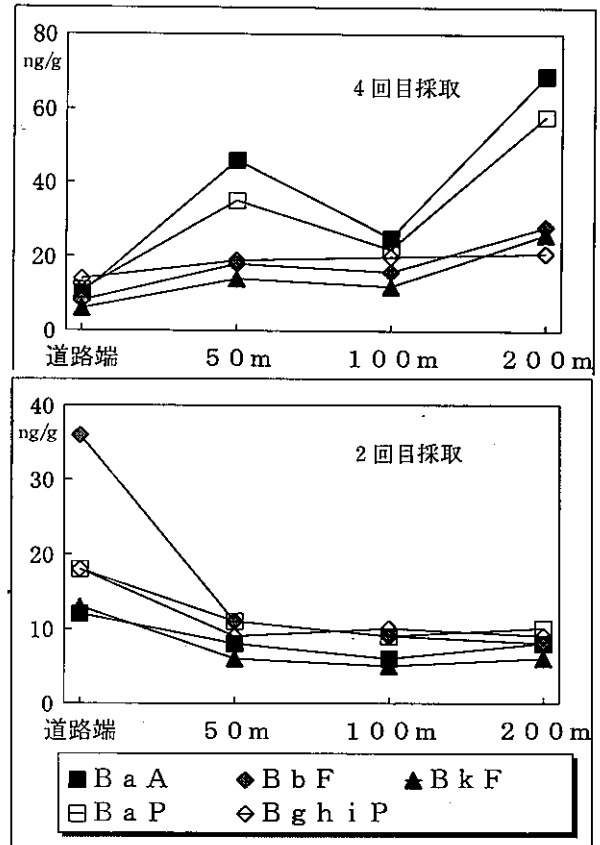


図2 PAHs濃度の道路からの距離減衰

2が、10.7ng/g、地点3が8.8ng/g、地点5が9.6ng/gとなっている。BaP濃度の距離減衰は、地点2の減衰が約40%、地点3が約50%と地点2までの減衰が大きいとその後の減衰は緩やかになっている。地点5は、9.6ng/gで地点3に比べやや濃度が高くなり後背地側の影響が強くなる傾向を示している。

しかし、1回目採取 (1994年11月~1995年5月まで放置)、3回目採取 (1994年11月~1996年5月まで放置)、4回目採取 (1994年11月~1996年11月まで放置) の各土壌には、この距離減衰は見られていない。

1回目採取土壌の場合は、地点2が最も高く、次いで地点3となっている。地点1と5が同じ値であった。

3回目採取土壌は、地点3が最も高く、地点1、2、5は同じ値となっている。4回目採取土壌は、地点5が最も高く、次いで地点2、3、1の順となっている。これら1回目、3回目、4回目の濃度分布パターンは、道路の後背地で高い結果となっており、この現象は大気中のBaPなどのPAHsの調査でも時々見られる現象と一致している。

地点4の各PAHsは、4回の採取とも最低濃度を示している。これは、地点4が樹木の下に設置されており、PAHsが樹木に吸着されるなどの影響を受けたためと思われる。

イ PAHsの組成比

PAHsの組成比から発生源を推定する手法が取られている。我々が調査したガソリン車やディーゼル車の排出ガス中のPAHsの結果⁵⁾やM. Mo11erら⁶⁾が発表しているBghiP/BaP比やBkF/BaP比を用いて発生源の推定を行ってみた。

図3に6ヶ月毎に採取した地点別のこれら組成比を示

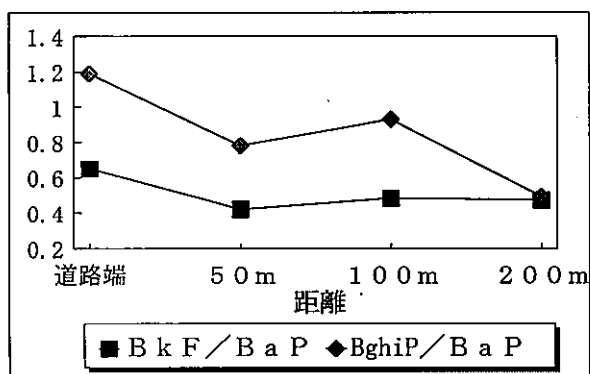


図3 PAHs成分の組成比

した。ただし、樹木の影響の見られる地点4を除いて解析を行った。BghiP/BaP比についてみると地点1の4回の結果は0.98~1.49、平均1.19であった。地点2は、同じく0.53~1.43、平均0.78であった。地点5は、同じく0.33~1.24、平均0.49であった。

同様にBkF/BaP比についてみると地点1は0.35~0.79、平均0.65であった。地点2は、0.38~0.52、平均0.42であった。地点5は、0.36~0.64、平均0.47であった。

自動車におけるこれらの比は、我々の調査結果ではBghiP/BaP比が、ガソリン車の場合3.5、ディーゼル車の場合0.5であった。また、BkF/BaP比は、ガソリン車0.5、ディーゼル車0.3であった。M. Mo11er等の発表では、ガソリン車の影響の強い地域での大気浮遊粉塵中のBghiP/BaP比が1.7~5としている。これらの結果を総合してみると全地点ともガソリン車の影響が強いことを示す組成比となっている。特に発生源に近い地点、にこの傾向が強くていていることから推測できる。

ウ PAHsの経時変化

図4にBaPの6ヶ月ごとの経時別、距離別の濃度を示した。これによると各地点とも経時的な濃度の増加は見

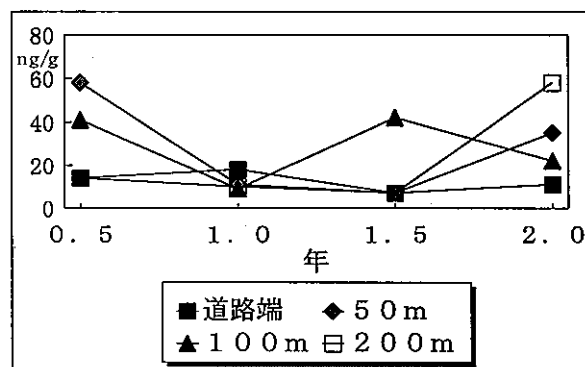


図4 BaP濃度の経時変化

られない。また、大気浮遊粉塵中のBaP濃度は、夏期に減少することが知られているが、冬季と見なすことができる1月から5月の期間放置した1回目及び3回目の採取土壌と夏期と見なすことができる5月から11月の期間放置した2回目及び4回目の採取土壌との間に濃度の減少などの傾向は見られなかった。これらの傾向は、他の成分についても同様であった。BaPなどのPAHsは、紫外線により分解されるが土壌に沈着した、あるいは吸着したこれら物質においても同様と考えられる。今回の調査においてBaPの経時的な濃度の増加が見られず、2年間の濃度範囲が7.11~18.1ng/gにあり、この濃度値が自動車等からの土壌への負荷量と紫外線等による分解量の平衡点を示しているものと思われる。

(2) 土壌中の有機成分の組成分析

2年目の最終回に採取した土壌について地点別にPAHsやAHC、NPAHs、HCCの有機成分の測定を行った。

ア AHCの測定

最終回に採取した土壌20gのジクロロメタン抽出液をカラムクロマトグラフ分離し、得られた第1画分を水素炎イオン化検出器付きGCで分析を行った。表1に各地点における土壌1g(乾燥重量)当たりのAHCの総濃度を示した。また、図5に地点1と5におけるAHC成分別の濃度パターンを示した。これによると、AHCとして炭素数が11(C₁₁)のウンデカンから炭素数38(C₃₈)のオクタトリアコンタまでの成分が確認された。この成分組成は、1991-2年の年報⁷⁾で報告した東京都における

表1 AHCの測定結果

単位: $\mu\text{g/g}$

地点名	総濃度 ($C_{11} \sim C_{33}$)
道路端	16.8
50m	12.4
100m	25.0
150m	16.3
200m	81.3

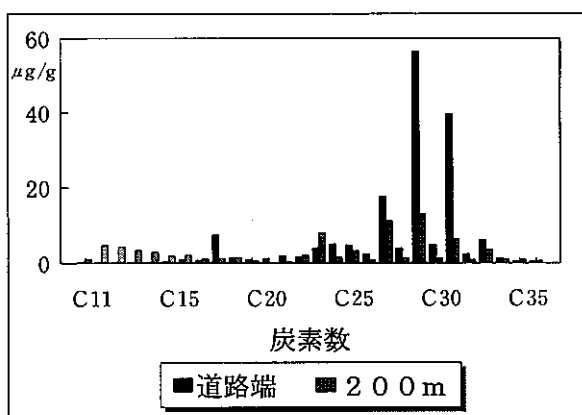


図5 脂肪族炭化水素の組成パターン

土壤中の化学物質の分布調査で得た土壤中のAHC成分と同様であった。

AHCの $C_{11} \sim C_{33}$ までの総濃度は、地点5が $81\mu\text{g/g}$ と最も高く他の地点は、 $12 \sim 25\mu\text{g/g}$ の範囲にあった。

AHCの成分パターンは、 $C_{29} \sim C_{33}$ に濃度のピークがあり、植物のクチクラ層のろう炭化水素の特徴である C_{29} 、 C_{31} 、 C_{33} の奇数の炭素成分が主成分となっている。

ガソリン車やディーゼル車排出ガスの特徴成分であるAHCの $C_{11} \sim C_{25}$ の総濃度は地点5が最も高く $35.7\mu\text{g/g}$ でAHCの $C_{11} \sim C_{33}$ までの総濃度の44%であった。他の地点は、 $2.2 \sim 2.7\mu\text{g/g}$ でAHC総濃度の11~20%の範囲にあった。

イ PAHsの測定

(ア) PAHsの濃度

最終回に採取した試料について上記のHPLC法により測定したBaA、BbF、BkF、BaP、BghiPの結果とHPLC法で分離が不十分なため測定できない成分について、カラムクロマトグラフで得た第2画分をGC/MS

のSIM法により分析した結果を合わせ表2に示した。

これによると最も濃度の高い成分は、各地点ともピレン (以下Pyという。) で $33 \sim 170\text{ng/g}$ であった。次の

表2 PAHsの測定結果

単位: ng/g

物質名	道路端	50m	100m	150m	200m
Ac	2.4	7.1	5.4	1.5	4.1
Fl	3.9	5.8	4.7	3.8	3.8
Ph	23	40	39	12	35
An	23	7.4	4.0	1.1	35
Py	33	170	63	12	69
BaA	10	46	25	1.2	69
Ch	41	39	59	ND	82
BbF	8.1	18	16	2.5	28
BkF	6.0	14	12	1.2	26
BaP	11	35	22	1.5	58
DA	0.6	2.8	3.3	0.1	7.3
BghiP	14	19	20	2.4	21

Ac: アセチル、Fl: フレノレン、Ph: フェナントレン、An: アンチレン、Py: ピレン、BaA: ベンゾ(a)アントラセン、Ch: チリレン、BbF: ベンゾ(b)フルアンthren、BkF: ベンゾ(k)フルアンthren、BaP: ベンゾ(a)ピレン、DA: ジベンゾ(a,b)フルアンthren、BghiP: ベンゾ(ghi)ペレン

でフェナントレン、BaAとなっている。

BaPの濃度は、地点4のデータを除くと $11 \sim 35\text{ng/g}$ であり、この値は、前回報告した都内60ヶ所で採取した土壤中のBaPの平均濃度 276ng/g に比べ1/10程度の値であった。また、松下ら⁷⁾の東京都内64ヶ所の土砂中のBaP濃度の結果における幹線道路の平均 740ng/g や嵐谷ら⁸⁾の北九州市幹線道路11地点の道路堆積土砂中のBaPの平均濃度 335ng/g に比べいずれも低い結果となっている。この低濃度の原因としては、BaPなどが表層に多く存在していると思われ土壌の採取における表層土の採取深さが一つの原因と考えられる。都内60ヶ所の調査時は地表3cmの深さまでを採取しており、今回が5cmの深さである。

(イ) PAHsの組成比

上記においてBghiP/BaP比などから発生源を推定したかPy/BaPについて求め表3に示した。

これによると地点4を除いた比は、 $1.2 \sim 5.0$ の範囲にある。先の我々の⁹⁾ガソリン車の排出ガス比は2.7、M.

表3 AHsの組成比

組成比名	道路端	50m	100m	200m
Py/BaP	3.1	5.0	2.9	1.2
FLO/ANQ	0.46	0.37	0.18	0.22
DBT/ANQ	0.10	0.15	0.13	0.08

Mollerら¹⁰⁾の比は2~6であり、ディーゼル車の比は、我々の結果が¹⁰⁾ $55 \sim 190$ 、M.Moller等の比は $20 \sim 60$ となっている。今回の土壌の結果は、上記BghiP/BaP比などの結果と同様にガソリン車の排出ガスに類似した値

となっている。

(ウ) NPAHsの測定

NPAHsの測定は、1-ニトロピレン（以下1-NPという。）について行った。カラムクロマトグラフ分離の第3画分に含まれる1-NPを還元カラム付きHPLCでアミノピレンに還元し、蛍光検出器で検出し測定した。結果を表4に示した。

これによると1-NPの濃度は、地点間の差が小さく0.25~0.32ng/gであった。また、道路からの距離減衰

表4 NPAHの測定結果

単位：ng/g

物質名	道路端	50m	100m	200m
1-ニトロピレン	0.29	0.32	0.25	0.31

もPAHsと同様に見られなかった。

(エ) HCCの測定

HCCの測定は、カラムクロマトグラフの第4画分をGC/MSのSIM法により行った。測定は、9-フルオレノン（以下FLOという。）、9,10-アントラキノン（以下ANQという。）、ジベンゾチオフェン（以下DBTという。）などについて行った。これらの物質は、1992年の年報⁹⁾で報告した東京都における土壤中の化学物質の分布調査で得られた土壤中の主要なHCC成分である。また、我々の調査¹⁰⁾でディーゼル車排出ガス中に高濃度で存在することが確認された物質であり、Dennis Schuetzleらが自動車排出ガスや大気浮遊粉塵中で最も含有量の多い物質の一つとしてリスクアセスメント物質に選択している。

結果を図6に示した。これによると各物質ともPAHsと同様に地点2の濃度が高くなっている。この濃度は、

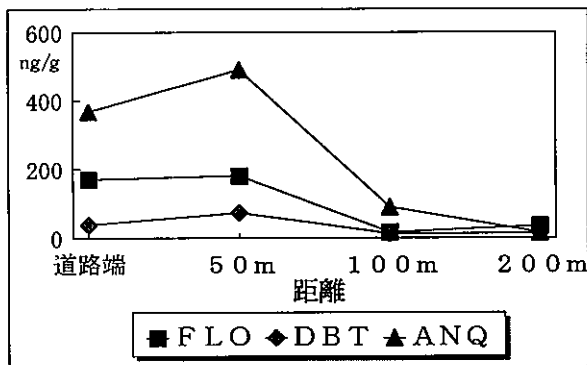


図6 複素環状化合物類濃度の道路からの距離減衰

前回報告した都内の土壤中のFLO、ANQ、DBTの平均濃度それぞれ440ng/g、690ng/g、130ng/gに比べ40~70%の値であった。これら3物質の道路からの濃度の距離減衰は、BaPなどのPAHsでは見られなかったが、地点1及び2と地点3、5との間に濃度差が見られている。これら成分の距離による濃度減衰は、地点1と5で90%以上の減少が見られている。

次にこれら成分の組成比からディーゼル車の排出ガスの影響について推定してみた。結果を表3に示した。

これによると各地点のFLO/ANQ比及びDBT/ANQ比は、前者が0.18~0.46、後者が0.08~0.15の範囲にあり、先の我々が求めたディーゼル車の排出ガス比は、それぞれ1.4、0.68でありディーゼル車の排出ガスの影響を示す組成比と異なっていた。

4 まとめ

① 土壌を用いた採取器を道路端とその後背地に50m間隔に200mまで配置し、6ヶ月ごとに2年間に渡りPAHsの濃度測定を行った。PAHsの道路からの濃度の距離減衰は、採取器の設置から1年目の土壌に見られた。BaPについてみると道路端の濃度に対し、50m地点で59%、100m地点で48%、200m地点で53%となっている。

他の期間の調査では、道路端から50mか100mの地点が道路端より濃度が高くなっている。

このような道路端に比べその後背地に高濃度が見られる現象は、ハイポリウムエアサンプラーによる大気中の調査結果に時々見られている。この原因として、都市部では道路が縦横に存在することから単一道路からの影響のみを分離して評価することが困難なことが挙げられる。また、自動車以外にも環境濃度に影響を与える発生源が存在する可能性も考えられ、検討を要する。

② PAHsの組成比からこれら物質の発生源を推定してみた。道路端やその後背地における土壌中のBghiP/BaP、BkF/BaP、Py/BaP、の各比は、いずれもガソリン車の排出ガスと類似する結果となっている。

③ 採取器から6ヶ月ごとに2年間に渡り採取した土壌中のPAHsの濃度には、経時的な濃度の増加は見られなかった。

道路端のBaPの濃度についてみると、経時的な濃度の増加は見られず、2年間における濃度範囲が7.11~18.1ng/gであった。この濃度値は、この地域における自

自動車等からの土壌への負荷量と分解後の残量の平衡点を示しているものと思われる。

④AHCの組成は、炭素数11から38の成分が確認された。自動車の影響を示す炭素数11から25の成分の総濃度は道路端から200m地点が炭素数11から38の全AHCの濃度の44%を示していた。他の地点は、11~20%の範囲にあった。

⑤1-NPの道路からの濃度の距離減衰は見られず0.25~0.32ng/gの範囲にあった。

⑥ANQなどのHCCは、ディーゼル車の排出ガスの指標となるものであるが、土壌中のFLO/ANQ比、DBT/ANQ比からはディーゼル車の排出ガスの影響を示す比とはなっていない。

布(2)「複素環状化合物」、東京都環境科学研究所年報1992、p.67~74

10) 泉川碩雄ら：ディーゼル車からの微量有機物の排出量調査—黒煙除去装置の微量有機物への影響—、東京都環境科学研究所年報1991、p.88~92

引用文献

- 1) 福岡三郎ら：道路沿道付近における粒子状物質の濃度分布傾向について、東京都環境科学研究所年報1985、p.11~20
- 2) 小谷野道子ら：沿道周辺大気中の多環芳香族炭化水素に関する調査例、第33回大気汚染学会講演要旨集、232 (1992)
- 3) 泉川碩雄ら：道路沿道における多環芳香族炭化水素濃度について、東京都環境科学研究所年報1993、p49~52
- 4) 泉川碩雄ら：東京都における土壌中の化学物質の分布—多環芳香族炭化水素—、東京都環境科学研究所年報1991-2、p.81~88
- 5) 泉川碩雄ら：ガソリン自動車の排気浄化対策による排出ガス中の多環芳香族炭化水素の変化、東京都環境科学研究所年報1989、p24~35
- 6) M.Moller *et al.* : Mutagenicity and PHA -Analysis of Airborne Particulate Matter, *Atmos. Environ.*, **14**, p.83~88, (1980)
- 7) 松下秀鶴ら：都市地区における土砂中のベンゾ (a) ピレンの分布、大気汚染学会誌、**15** (8) p. 348~352 (1980)
- 8) 嵐谷奎一ら：道路堆積土砂中の多環芳香族炭化水素と変異原活性、大気汚染学会誌、**27**(4) p. 190~197 (1992)
- 9) 泉川碩雄ら：東京都における土壌中の化学物質の分