幹線道路へのベンゾ(a)ピレンの堆積特性と予測に関する研究

和田 安彦* 北 東 雄 一* 三 浦 浩 之**

Study on Characteristics and Simulation of Accumulated Benzo(a)pyrene Loads on Trunk Road

Yasuhiko WADA*, Yuichi KITAHIGASHI* and Hiroyuki MIURA**

* Graduate School of Kansai University, 3-3-35 Yamate-cho, Suita, Osaka 564-8680, Japan

** Faculty of Human Environmental Studies, Hiroshima Shudo University, 1-1-1 Ozukahigashi, Asaminami-ku, Hiroshima

Abstract

Urban areas are undergoing a relative increase in non-point loads from road surfaces and rooftops. Manufacturing activities and motor vehicles produce exhaust gases containing micro-pollutants that are considered to adversely affect human beings and river ecosystems. These toxic substances accumulate on road surfaces on fair days and run off into river systems in the form of roadway drainage on rainy days. In this study, we measured the content of benzo(a)pyrene (B(a)P), which is a carcinogen in road-surface sediments, and experimentally quantified the rate of photolysis of B(a)P, in order to develop a prediction model to estimate B(a)P road-surface sediment and runoff loads. The characteristics (such as pollution load generation, distribution and attenuation) of B(a)P road-surface sediment loads were clarified, and a method was developed to identify parameters for a model to predict these loads. The findings of this study will enable more quantitative predictions to be made concerning B(a)P road-surface sediment and runoff loads, which will help provide greater accuracy when countermeasures and the control of non-point loads will be considered in the future.

Key words : non-point pollution load, benzo(a)pyrene, accumulation, modeling

1. はじめに

下水道整備の進捗により、都市域では家庭や事業所などから公共用水域へ流出する汚濁負荷量は減少しているが、道路面や屋根面からのノンポイント負荷が相対的に増加している。これに対応して、海外ではノンポイント汚濁負荷流出の制御手法として貯水池を活用する最適管理手法(BMP)が適用されており、国内でもノンポイント汚濁負荷対策の推進、必要性が関係省庁において提言され、実践されつつある。

晴天時、道路面に堆積する負荷には、都市域での生産活動や走行車両に由来する微量有害性物質や重金属等が含まれており、雨天時に道路排水として水系に流出していることから、人体・水系生態系への影響が懸念されている。例えば、河川底質から高濃度のベンゾ(a)ピレン(以下：B(a)P)が検出されており、湾、河川におけるB(a)Pまたは多環芳香族炭化水素(以下：PAHs)は道路排水によるものと考えられている^{1),2)}。また、道路面堆積物中のPAHsは、タイヤ及び自動車排ガスを発生源としており、粒度や採取時期より場所間のプロファイルに大きな違いがあるとしている³⁾。このことから、生産活動の中心となる交通量の多い都市域の幹線道路は、微量有害性物質をはじめとする堆積負荷が非常に集中する箇所であると言える。

しかし、面的に分布する路面堆積負荷は、発生源や発生

量の特長が難しく、様々な人的条件や自然条件等の影響を複雑に受けるため、路面堆積負荷の挙動を正確に把握し定量化することは、非常に困難となっている。

本研究は、路面に堆積する微量有害物質の代表物質で、発ガン性物質であるB(a)Pの路面堆積予測モデルとそのパラメータの同定方法を提案するものである。

2. 本研究の位置づけ

B(a)Pについては、石油系燃料の燃焼に伴い非意図的に生成される物質であり、自動車排ガスからの排出量が多いと考えられている⁴⁾。また堆積B(a)Pの環境因子については日射量による光分解作用も指摘されている⁵⁾。尾崎らの実験では、PAHsは一次式により変換されるとしている⁶⁾。道路面の微量有害物質を広範囲において予測把握するためには、これらの堆積特性を定量化し、いかにモデルに組み込むかが重要となってくる。

これまで筆者らはノンポイント負荷モデルの提案を、SSやBODについて行ってきた⁷⁾。また、これまでに道路面堆積中のB(a)Pについて、SSとの相関性が高いことから、既存のSS堆積モデルを用いて路面堆積物中のB(a)Pの予測を行うことが可能であることを示し⁸⁾、小さな排水区を対象とする場合は、分布型モデルよりも、この従来のモデルを適用することが望ましいことがわかった⁹⁾。しかし、従来のモデルでのパラメータの同定は、SS濃度とB(a)P濃度の相関

* 関西大学大学院工学研究科 〒564-8680 吹田市山手町3-3-35

** 広島修道大学人間環境学部人間環境学科 〒731-3195 広島市安佐南区大塚東1-1-1

から、これまでの経験に基づく値をベースにトライアルによりモデルによる再現値が実測値に一致するように設定していた。ノンポイント汚染に関するモデルには、J. Sartorら¹⁰⁾やJ. Sartorらのモデル(S/Bモデル)を改良した脇岡ら¹¹⁾のモデル、Z. Haipingら¹²⁾のモデルがあるが、再現値と実測値の総量が一致する等といったように、実測値を基にトライアルによりパラメータを決定しているというのが実情である。

そのため、本研究では、B(a)Pの路面堆積状況実態調査、太陽光によるB(a)Pの減衰実験から路面でのB(a)Pの堆積特性などを把握し、B(a)Pの路面堆積現象の各過程を定量化した。また、その結果を用いて、筆者らが提案⁸⁾した路面堆積負荷量モデルを用いて、B(a)P堆積負荷量を予測するためのモデルパラメータの同定方法を示し、その適用性を検証した。

3. 路面堆積物中のB(a)P堆積負荷量の予測の考え方

3.1 基本的な考え方

筆者らは以下に示す地表面堆積モデル式を提案していた⁸⁾。

$$P = P_0 \cdot e^{-kN} + \frac{a(1 - e^{-kN})}{1 - e^{-k}} \quad (1)$$

ここで、 P ：路面堆積負荷量($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-1}$)、 P_0 ：初期路面堆積負荷量($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-1}$)、 a ：道路単位長当りのB(a)P堆積増加量($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-1}$)、 k ：負荷減衰係数(無次元)、 N ：先行晴天日数(d)である。

本モデルでは、道路単位長当りのB(a)P堆積増加量(a)、負荷減衰係数(k)をパラメータとして、実測値に合うようにこれらを同定してきた。しかし、これまでの同定方法では各々調査を通じた実測データが必要となり、費用と労力がかかり、しかも汎用性の低いものであった。そこで、B(a)P堆積プロセスを以下のように仮定した。

(仮定1) B(a)Pは、工場などの排ガスや自動車からのSPMに含まれており、工場等がほとんどなく自動車交通の多い幹線道路を対象としていることから、発生源を自動車から排出されるSPMとした。

(仮定2) 自動車から排出されるSPMとともに排出されたB(a)Pは、毎日、大気中を浮遊し、風などの気象条件の影響を受けつつある一定の割合で路面に堆積する。

(仮定3) 降下したB(a)Pは、光分解等により降下後の経過日数に比例して減衰していく。

3.2 パラメータの考え方

各パラメータの同定方法のフロー図をFig.1に示す。道路単位長当りのB(a)P堆積増加量(a)は、自動車から排出されたB(a)Pが1日に堆積する量と捉えることができ、仮定1と仮定2を表現しており、以下の式で示すことができる。

$$a = L_g \cdot Ps \quad (2-1)$$

$$L_g = \sum(q_{is} \cdot C_{is}) \cdot 10^{-3} \quad (2-2)$$

ここで L_g ：発生源からのB(a)P排出負荷量($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$)、 Ps ：B(a)Pの降下割合(無次元)、 q ：交通量(台 $\cdot\text{d}^{-1}$)、 C ：B(a)P排出負荷原単位($\mu\text{g}\cdot\text{km}^{-1}\cdot\text{台}^{-1}$)、 i ：車種、 s ：旅行速度(km $\cdot\text{h}^{-1}$)である。

発生源からのB(a)P排出負荷量(L_g)は、対象道路を走行す

Fig.1 Flow of Parameter identification

Table 1 B(a)P emissions according to model and speed

Speed (km)	Ordinary motor vehicle ($\mu\text{g}\cdot\text{km}^{-1}\cdot\text{cars}^{-1}$)	Subcompact Car ($\mu\text{g}\cdot\text{km}^{-1}\cdot\text{cars}^{-1}$)	Truck ($\mu\text{g}\cdot\text{km}^{-1}\cdot\text{cars}^{-1}$)
10	0.42	1.89	7.20
20	0.24	1.51	5.23
30	0.23	1.48	4.49
40	0.24	1.46	4.02
50	0.26	1.41	3.62
60	0.26	1.31	3.23
70	0.26	1.14	2.81
80	0.24	0.90	2.36

る車両からの排出量を測定して、求めることが難しいことから、本研究においては、東京都で行われた既往調査の車種別速度別のSPM排出量¹³⁾に京都市の自排局において調査(年間調査)¹⁴⁾されたSPMに対するB(a)Pの平均の比率(11.3 ng-B(a)P/mg-SPM)を乗じて算定した。算定した車種別速度別のSPM排出量をTable 1に示す。なお、車種別交通量および旅行速度は、交通センサスのデータ¹⁵⁾を使用した。これらにより、B(a)Pの降下割合(Ps)が求めることができるならば、道路単位長当りのB(a)P堆積増加量(a)も求めることになる。本来ならば、自動車より排出されてから路面に堆積するまでの過程を論理的に求める必要があるが、本研究では、路面堆積B(a)P量から自動車排出B(a)P量を除いた値を降下割合(Ps)とした。そこで、本研究では、B(a)Pの降下割合 Ps を大阪府内の府道7地点(地点①~⑦)の路面堆積B(a)P量の調査結果より求めることとした。

負荷減衰係数(k)は、仮定3を表現するものであり、B(a)P減衰実験により定量化を行った。

4. パラメータの定量化

4.1 道路単位長当りのB(a)P堆積増加量(a)の定量化

(1) 対象道路

対象道路は、大阪府内の国道・府道7地点(地点①~⑦)とモデルの妥当性を検証する地点Aである。これらの調査地点は、①国土交通省の交通センサスにより交通量のわかっている地点(自動車交通量からB(a)P排出量を算出するため)②調査対象道路を通る車以外の自動車排ガスによる影響を受けない地点(自動車排ガス起源のB(a)Pを対象としているため)③近くに交差点や商店街、駅がない地点(交差する道路を通る車の排気ガスの影響を受けるため)の選定条件を満たした地点である。幅0.50mのコンクリート路肩部をほうきとデッキブラシで掃きとり、路面堆積物を採取するという方法で行った。採取した試料は、乾燥せずにふるいわけを行い、重量の計測を行った。ただし、2mmのふるいを通し、落ち葉や小石といった粗大物の除去は行っている。地点国道・府道7地点については、2004年12月10日(①

Fig.2 Position of investigation

Table 2 Traffic amount and speed of investigation

	Ordinary vehicle(cars)	Subcompact Car(cars)	Truck (cars)	Speed (km・h ⁻¹)
①	13,597	1,497	3538	31.7
②	23,135	2,338	8,095	45.8
③	27,077	10,607	6,623	21.5
④	42,930	10,811	10,913	21.1
⑤	54,262	16,575	15,127	19.7
⑥	22,033	6,613	5,938	9.4
⑦	19,819	8,853	5,032	13.2

③④⑤⑥⑦), 2005年11月11日(①②③⑥⑦)の計2回調査を行った。ただし、降雨による堆積物の残存量の影響を控除するために、2004年12月6日と2005年11月5日に一度路肩の堆積土砂除去作業をブラッシングにより行っている。各調査地点の位置図をFig.2, 交通量データ, 旅行速度(交通センサス)の調査結果をTable 2に示す。

(2) 調査方法

路肩の堆積物は道路面全体の約9割を占めることから、路肩のみの堆積土砂をブラッシングにより採取した。

堆積土砂量とこれに含まれるB(a)Pを分析した。路面堆積物中に含まれるB(a)P濃度は粒径により異なることからB(a)Pの分析は3区分にて行った(Division ①: 2.00mm>D>0.85mm, Division ②: 0.85mm≥D>0.25mm, Division ③: 0.25mm≥D)。なお、試験用網あるいはJIS Z 8801に規定されたものを使用した。

B(a)Pの分析方法は環境庁¹⁶⁾(現環境省)の外因性内分泌攪乱化学物質調査暫定マニュアル(水質, 底質, 水生生物)(平成10年10月)の底質分析法に従った。底質分析法は、底質試料をアセトンで抽出後、食塩水を加えてヘキサンで抽出し、ヘキサン相を脱水、濃縮後、フロリジルカラムクロマトグラフィーでクリーンアップしてGC/MS-SIMで測定するものである。本論文で示す路面堆積土砂は、乾式で回収したものをふるいにかけ、粒径区分ごとに分け、重量を測定したものである。なお、B(a)P($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)の分母の単位(kg)とは堆積土砂量を表し、分子の単位(μg)はB(a)P堆積負荷量を表す。

(Dec. 10/2004)

(Nov. 11/2005)

Fig.3 Measured accumulated B(a)P loads

(3) 粒径区分毎のB(a)P堆積負荷量

2004年12月10日と2005年11月11日における分析結果をFig.3に示す。土砂量に関しては、一般的には、単位面積当たり0~50g堆積している。ただし、2005年11月11日地点⑤においては、他の地点に比べて非常に大量の土砂量が路肩に堆積しており、粒径の大きなものが多く堆積していたことから、ダンプトラックによる再生砂等の落下が原因ではないかと考えられる。

両調査結果において、B(a)Pは粒径が細くなるにつれて単位堆積土砂量当たりの含有量が高くなることを確認することができた。

(4) B(a)Pの降下割合(P_s)

道路単位長当りのB(a)P堆積増加量(a)は、B(a)Pの降下割合(P_s)が求めれば、測定した道路単位長当りのB(a)P堆積増加量が無くても定量化することができる。B(a)Pの降下割合(P_s)は、道路単位長当りのB(a)P堆積増加量(a)から自動車排出B(a)P量を除すことにより求めることができるが、実際の道路単位長当りのB(a)P堆積増加量(a)を直接求めることは困難であることから、道路単位長当りのB(a)P堆積増加量(a)は、各調査地点で得られたB(a)P堆積量から式(1)により算出した。ただし、調査前に一度路肩の堆積土砂除去を行なっていることから、残存量は0とし、負荷減衰係数(k)は、0.066(4.2参照)とし算出している。調査地点別の降下割合の値をFig.4に示す。ただし、2005年11月11日地点⑤について大量の土砂量が路肩に堆積していたことから、対象から外

Fig.4 Descent Ratio (P_s) in investigation

した。図より、降下割合(P_s)は、0.001～0.014の範囲をとることがわかった。このことから、自動車から排出されたB(a)Pの多くは、大気中拡散しているか、もしくは他の物質へと変化していることが疑われ、わずか0.1～1.4%程度が路面に堆積していることと推測される。

降下割合(P_s)は、風速、季節等により刻々と変化することから、地点Aの解析での降下割合の値は最小で0.001最大で0.014とし、さらには、調査地点の平均値である0.004の3つの場合での降下割合(P_s)に幅をもたせて評価を行うこととした。

4.2 B(a)P堆積負荷量の減衰実験

(1) 実験方法

実験は、関西大学工学部実験棟屋上において、2004年11月24日～12月7日、2005年11月8日～11月18日までの晴天期間中(平均日照時間約6h・d⁻¹)のB(a)Pの減衰量の把握を行った。実験状況をFig.5に示す。

実験に用いた試料は、2004年10月4日(先行晴天日数5日、前回降雨量87.0mm)と2005年11月1日(先行晴天日数3日、前回降雨量26.5mm)に採取したものである。本来であるならば、先行晴天日数0日の試料を用いることが求められるが、先行晴天日数0日では、実験を行うのに必要な土砂量が堆積していないため、先行晴天日数5日と3日の試料を用いることとした。

地点Aにおいて採取した試料は、Division①～③にふるい分けを行い、工作方眼用紙で作成したトレイ状の容器(0.5m×0.36m)の中に粒径区分毎の各路面堆積土砂25gずつを入れ、屋上に数日間放置して土砂の回収を行った。実際の路面での堆積状況とは異なる条件で実験をしたのは、B(a)Pの減衰量の把握する上で、粒径によるB(a)P濃度のバラツキをさけるためである。なお、濃度の減少により測定結果が定量限界値を下回ってしまうことが考えられたため、濃度の高いDivision②とDivision③を用いた。

堆積土砂の飛散、混入を防ぐために透明のセロハンでトレイを覆い、セロハンには、小さい孔をあけ、多少の空気の出入りは可能な状態とした。トレイを覆った場合、光吸収が考えられるが、出来る限り吸収を防ぐために、セロハンは透明の肉厚0.1mm以下のものを用いた。なお、使用するセロハンの種類により光吸収特性は異なると考えられるが、その影響は小さいものと仮定して実験を行った。

また、翌日に雨と予想された日は、暗所において、トレイの保管を行った。実験が終了した試料は、ガラス製のビンに入れ、光が当たらないようアルミホイルでガラスビン

Fig.5 Conditions of the photodecomposition experiment

Fig.6 Result of the photodecomposition experiment

を覆い、暗室に保管しておいた。分析はこれまでと同様GC/MS-SIMで行った。

(2) 実験結果

本来は290nm以上の光量と分解による減衰を解析すべきだが⁵⁾、今回は簡易化して年間で最も光量の少ない季節で実験して、日数を単位として評価を行った。光量の少ない季節で実験した理由としては、B(a)Pの水系への流出する量が大きくなると考えられるためである。

実験結果をFig.6に示す。路面堆積土砂中のB(a)Pは、経過日数が増加するにつれてB(a)P濃度が低減している。路面堆積土砂に付着したB(a)Pは光分解作用により低減していることが示唆されたが、対照実験を行っていないため、光分解作用による減衰減少かどうかは、本研究では確認を得ることはできなかった。

Fig.6において、近似式を作成したところ、Division②とDivision③との乗数値に大きな違いは、見られなかったため、本研究では、B(a)Pが付着している粒径が異なっている、B(a)Pの減衰特性は同じであるとし、負荷減衰係数(k)は、Division③の平均値である0.066とした。

5. 路面堆積物中のB(a)P堆積負荷量予測モデルの検証

5.1 B(a)P堆積負荷量予測モデルの妥当性

地点Aにおいて、B(a)P堆積負荷量の予測モデルの妥当性を検証する。

まず、2002年10月23日7時から19時までの間に地点Aでの交通量調査を行った。調査項目は車種別交通量(普通乗用車、軽乗用車、小型貨物車、普通貨物車)、旅行速度であり、それぞれを10分単位で記録した。また、旅行速度は、60mを

走行する時間を10分間で4回計測し、その平均値で旅行速度を算定した。なお、二輪車は排出B(a)Pが極めて少ないため調査では除外した。結果より、交通量は22,841台/12hr(7:00~19:00)となり、12時間交通量(AM7:00~PM19:00)に昼夜率1.49を乗じた値を地点Aにおける交通量とした。その内、普通貨物車は10,000 automobiles・day⁻¹(混入率29%)、小型貨物車は4,200 automobiles・day⁻¹(混入率12%)である。

次に、上記の交通量結果から地点Aにおける道路単位長当りのB(a)P堆積増加量(a)の算定を行った。道路単位長当りのB(a)P堆積増加量(a)は、降下割合(P_s)0.004の場合で0.198(降下割合(P_s)0.014:0.679, 降下割合(P_s)0.001:0.066)となった。

一方、減衰実験結果より負荷減衰係数(k)は、場所を問わず0.066である。妥当性の評価方法としては、先行晴天日数とB(a)P堆積負荷量の関係から評価するものとし、降下割合(P_s)に幅を持たせて評価を行う。

また、路面中に堆積するB(a)Pは、粒径の大きさにより濃度がことなることから、粒径別にB(a)P負荷量の分析をおこなったが、B(a)P負荷量を予測する上では、降下したB(a)Pの粒径別の付着特性を把握できないことから、粒径別の予測を行わず、自動車から排出されるB(a)P量に降下割合を乗じることによりB(a)P負荷量を求めた。

地点Aにおけるモデル解析の結果をFig.7に示す。地点Aの実測値は、既報のものである⁹⁾。図より、降下割合(P_s)が平均値(0.004)の場合において、実測値を再現できている。また、降下割合に幅を持たせた場合、先行晴天日数が短い時は除いて、すべての実測値が解析の範囲内に入っている。先行晴天日数が短い時の実測値が解析結果より大きくなる原因としては、B(a)Pが残存していたことが考えられる。

5.2 B(a)P堆積・流出予測モデルの妥当性

上記では、B(a)P堆積負荷量予測モデルの検証を行ったが、調査地点Aのデータは、降雨の影響を受けている。そこで、2004年4月~12月までを対象に年間解析を行った。ただし、雨天時の流出式にSartor¹⁰⁾らが既往研究において示している式(4-1)(4-2)を用いて、2004年4月~12月までの解析を行った。

$$Q_p = P_{(n-1)} \cdot (1 - e^{-C_r(R-Re)}) \quad (4-1)$$

$$P_{(n)} = P_{(n-1)} - Q_p \quad (4-2)$$

Q_p : 流出負荷量($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-1}$), $P_{(n)}$: n日における路面堆積負荷量($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-1}$), C_r : 負荷流出係数(mm^{-1}), R : 降雨量(mm), Re : 限界掃流量(mm)である。

負荷流出係数 C_r と限界総流量 Re は流れやすさを表すパラメータとなっている。本研究では、負荷量が最も高い実測値と解析値が一致するように同定を行った。設定したパラメータをTable 3に示す。降雨データは、調査地点A周辺の10分間毎の雨量データを1日毎に換算して用いた。

本研究では、解析結果の適合性の評価手法として合致率と適合度を用いた。合致率の算定式を式(5-1)に、適合度を式(5-2)に示す。合致率は、各計測日毎の誤差を表しており、適合度は解析期間中の総量の誤差を表す。合致率は100に近いほど、適合度は1.00に近い程、モデルの精度が高いことを意味する。本研究において対象としているB(a)P堆積負荷量は、自動車交通量や気象状況、社会経済活動等の影響を常に受けるため、必ずしもその現象は定常的なものでは

Fig.7 Result of accumulated simulation

Table 3 Parameter of accumulated and runoff model

Parameter	a	k	C_r	Re
	0.198	0.065	0.1	2.0

Fig.8 Result of accumulated and runoff simulation (B(a)P)

ない。そこで、今回、指標として用いる合致率は70%以上、適合度は0.70以上であれば、B(a)Pの挙動を概ね再現できているとした。なお、合致率、適合度の評価には、実測値がある期間を対象とした^{7),8)}。

$$E_L = \left\{ 1 - \sqrt{\sum (L_{sm} - L_s)^2 \div TL_{sm}} \right\} \times 100 \quad (5-1)$$

$$TD_L = TL_s / TL_{sm} \quad (5-2)$$

ここで E_L : B(a)P堆積負荷量の合致率(%), L_{sm} : 実測B(a)P堆積負荷量($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-1}$), L_s : 解析B(a)P堆積負荷量($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-1}$), TL_{sm} : 実測総B(a)P堆積負荷量($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-1}$), TD_L : B(a)P堆積負荷量の適合度, TL_s : 解析総B(a)P堆積負荷量($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-1}$)である。

対象地点における解析結果をFig.8に示す。また、合致率は、87%で、適合度は、1.03であった。道路路面堆積量およびその含有負荷は、交通量等の社会現象を受けるため、理論的、実験的に必ずしも一致しないところがある。従来の研究をもとに判断すれば、本モデルにより実測値(B(a)P堆積負荷量)を概ね再現できていると言える。

6. 結 論

これまで、道路単位長当りのB(a)P堆積増加量(a)および負荷減衰係数(k)は、経験値に基づき実測値に一致するよう

トライアル計算により決めていたが、本研究では、B(a)P路面堆積モデルにおけるパラメータを実地調査に依存することなく同定する手法の提案を行った。

路面堆積物中のB(a)P量の調査およびB(a)Pの減衰実験を行い、B(a)P堆積負荷量の路面堆積特性(発生、減衰)を明らかにし、同定に必要な降下割合(P_s)や負荷減衰係数(k)を定量化した。得られた知見を以下にまとめる。

道路単位長当りのB(a)P堆積増加量(a)の決定方法について、自動車からのB(a)P排出負荷量と排出されたB(a)Pが路面に堆積する降下割合との関係から求める方法を示し、一般データとして既にある交通センサスなどに示されている車種別速度別交通量が使用できることを示した。

大阪府内の国道・府道7地点(地点①～⑦)における実地調査より、効果割合の定量化を行った。結果、自動車から排出されたB(a)Pの多くは、大気中拡散しているか、もしくは他の物質へと変化していることが疑われ、わずか0.1～1.4%程度が路面堆積物として路面に堆積していることがわかった。

負荷減衰係数(k)の決定方法について、B(a)P堆積負荷量の減衰実験により、B(a)Pの一日当りの低減割合は粒径の違いに関係なく、平均値である約0.066とし、負荷減衰係数(k)は、負荷減衰係数(k)は、0.066とした。しかし、減衰の要因としては、光分解による減衰と示唆されたが、明らかにすることはできなかった。

以上の方法により設定したパラメータの値を用いて地点Aにおける実測値と計算値の比較を行った結果、降下割合に幅を持たせた場合、先行晴天日数が短い時は除いて、すべての実測値が解析の範囲内に入っており、モデルの再現性の確認を行った。さらに、降雨の影響を考慮した場合でも、解析結果の合致率は80%以上、適合度は0.80以上であり、解析値は概ね実測値を再現できることを再確認した。

しかし、B(a)P量の予測では、本来であるならば、降下割合(P_s)を論理的に求める必要があるが、本研究では、論理性を確保する段階まで至っておらず、交通量の違いによる、すなわち、自動車からのB(a)P排出量の違いによる降下割合(P_s)の把握を行い、降下割合(P_s)を解析上で用いた。今後、本モデルの課題として、降下割合(P_s)を論理的に求めることが望まれる。また、B(a)P量の予測では、粒径別ではなく、全体を把握したが、降下したB(a)Pの粒径別の付着性の特性を論理的に把握する必要となる。

さらには、ノンポイント汚濁負荷の予測においては、面的に捉えることが非常に重要となることから、堆積予測モデルだけでなく、流出モデルにおいても汎用性のあるモデル構築を行う必要がある。

謝辞：本研究を遂行するに当たり、関連諸機関から貴重な資料・情報の提供を受けた。現地調査ならびに堆積物・水質分析では関西大学工学部都市環境工学科環境システム研究室の学生諸君の協力を得た。ここに記して深く感謝の意を表する。

(原稿受付 2006年10月10日)

(原稿受理 2008年 1月 9日)

参考文献

- 1) 三浦浩之, 和田安彦, 尾崎平, 中嶋宜信(2003)雨天時道路排水の流出水系での汚濁物質の挙動, 用水と廃水, 45(8), 779-785.
- 2) E. Hoffman, G. Mills, J. Latimer and J. Quinn (1984) Urban runoff as a source of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons to coastal waters, Environ. Sci. Tech., 18, 580-587.
- 3) M. Murakami and H. Furumai (2005) Size-and density-distributions and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in urban road dust, Chemosphere, 61(6), 783-791
- 4) ペッ ペンシャイ, 中島典之, 古米弘明, 自動車排出物(2002) タイヤおよび道路舗装材の PAHs プロファイルとそれらの側溝堆積物中 PAHs への寄与, 環境科学会誌, (6), 433-442.
- 5) 環境省(2003)化学物質の環境リスク評価 第2巻, 61.
- 6) 尾崎靖篤, 上野浩平, 山口登志子, 福島武彦(1999)都市地表面上における多環芳香族炭化水素類の光変換性, 環境工学研究論文集, 36, 73-80.
- 7) 和田安彦, 三浦浩之(1997)都市域ノンポイント汚染源負荷の堆積・流出挙動モデルと流出制御に関する研究, 土木学会論文集, 559, VII-2, 61-71.
- 8) 尾崎平, 和田安彦, 三浦浩之, 中嶋宜信(2004)自動車排ガス起源のベンゾ(a)ピレンの路面堆積・流出モデルに関する研究, 水環境学会誌, 27(1), 53-59
- 9) 和田安彦, 三浦浩之(2007)分布型雨天時汚濁解析モデルによる自動車排ガス由来汚染物質ベンゾ(a)ピレンの自動車道での堆積・流出挙動解析, 水環境学会誌, 30(5), 257-265
- 10) J. Sartor, G. Boyd and F. Agardy (1974) Water pollution aspects of street surface contaminants, WPCF, 46 (3), 458-467.
- 11) 脇岡靖明, 古米弘明(2001)都市ノンポイント汚染源負荷流出調査に基づく不透水面堆積負荷流出モデルの検討, 土木学会論文集, 685, VII-20, 123-134.
- 12) Z. Haiping and K. Yamada(1996): Estimation for urban runoff quality modeling, Wat. Sci. Tech., 34, (3), 49-54.
- 13) 東京都環境保全局(1997)東京都内自動車走行量および排ガス量将来予測調査報告書.
- 14) 京都市環境局(2004)平成 15 年度京都市における大気, 水質等環境調査結果について, (4), 1-4.
- 15) 国土交通省道路局(2001)平成 11 年度道路交通センサス 全国道路交通情勢調査 一般交通量調査, (社)交通工学研究会, (CD-ROM).
- 16) 環境庁(1998)外因性内分泌攪乱化学物質調査暫定マニュアル(水質, 底質, 水生生物), VII-VI6.