

# 道路塵埃中の多環芳香族炭化水素類と 環境因子の関連 データの標準化を中心として

栗原考次<sup>1</sup>・小野芳朗<sup>2</sup>

(受付 2004年4月2日;改訂 2004年9月13日)

## 要 旨

本研究では、近年も増加傾向にある自動車交通量及びそれに伴う排気ガスに付着する有害物質(PAH)と環境因子との関連について考察した。対象として、自動車等の交通機関から汚染を受けている岡山県下7カ所の道路上堆積物を取り上げ、交通量やディーゼル車の交通量の変化に伴う、塵埃量や塵埃に付着し道路上に堆積するPAHの変化を調べた。対象とする道路は領域データであり、領域内での降水量や紫外線量に対する、正確なデータの入手は困難である。そこで、降水量はTiesen分割法を用いて、紫外線量は全国4カ所の1ヶ月の紫外線全量を用いて緯度及び季節を補正し、1日ごとの推定値を算出した。回収土量及びPAHについては、各ステーションで区間面積が異なり、さらに堆積する期間も一定ではないので、データの標準化を行った。解析では、線形モデルを用いてPAHに対する降水量(降水による路面への流出)、紫外線量(紫外線によるPAHの分解)など環境因子とPAHの量の関連を検討した。さらに、得られたデータが少ないため、似た構造をもつ道路群を検出し、群内での降水量、紫外線量を説明変数とした目的変数PAHのモデルを構築し、定量的に環境因子の影響を把握した。

キーワード：道路上堆積物，環境汚染物，多環芳香族炭化水素類，環境因子，紫外線量，重回帰分析。

## 1. はじめに

近年、環境汚染物として注目されている多環芳香族炭化水素類(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: PAHs)は、ディーゼルエンジンなどから排出され、大気、道路、沿道の土壌などを汚染している。ディーゼルエンジン内の不完全燃焼が原因で発生するディーゼル排気微粒子(DEP)は、直径2ミリマイクロン以下の微粒子(パーティキュレート)であり、炭粉に吸着したベンツピレン(Benzo(a)pyrene)が含まれている。PAHに属するこれらの物質は、細胞に突然変異を引き起こさせ、ガン発生の一つの要因と考えられている。肺ガンで死亡した人の肺には、ベンツピレンが多く蓄積されている。これら微量有害物質の雨天時における流出に伴う、水環境や水域生態系への影響が懸念されている(脇岡・古米(2001))。

微量有害物質の雨天時における流出などの汚濁負荷を効果的に減少させるためには、路面への堆積負荷量の定量化や降水によるそれらの流出の検討が必要である(和田(1981)、尾崎他

<sup>1</sup> 岡山大学 環境理工学部環境数理学科：〒700-8530 岡山市津島中 3-1-1

<sup>2</sup> 岡山大学 環境理工学部環境デザイン工学科：〒700-8530 岡山市津島中 3-1-1

(2000)). 分流式下水道を対象とした, 雨天時流出量調査, 路面堆積負荷量調査, などでは単独降水の場合が多く, 経時的な分析はあまり行われていない(酒井 他(1997)). さらに, 微量有害物質は排水処理施設では除去が困難なものも多いため, 地表面への堆積や水系への流出などを解明する必要がある(和田・三浦(1997)).

本研究では, 近年も増加傾向にある自動車交通量及びそれに伴う排気ガスに付着する有害物質(PAH)と降水量や紫外線量などの環境因子との関連について考察する. 対象として, 自動車等の交通機関から汚染を受けている道路上堆積物を取り上げ, 交通量やディーゼル車の交通量の変化に伴う, 塵埃量や塵埃に付着し道路上に堆積する PAH の変化を調べる. 特に, データの特徴としてあげられる, ステーション毎や月毎に堆積期間, 道路の観測区間, 観測面積が不揃いであるという問題に対して, データの標準化を行うとともに, 正確なデータの入手が困難な道路上の降水量, 日照時間, 紫外線量データに対して, Tiesen 分割法, 緯度・季節補正に基づき推定を行う. また, 降水による路面へ流出(降水量), 紫外線による PAH の分解(紫外線量)などの環境因子との関連も定量的に把握する.

## 2. 道路塵埃及び環境因子データの収集

道路上に蓄積する塵埃量及び PAH と環境因子の関連メカニズムを定量的に分析するために, 環境因子として自動車交通量, 日照時間, 降水量, 紫外線量, 汚染量の存在量把握のための因子として道路上の表面積, 堆積期間などを取り上げた. 道路上の塵埃データは, 岡山県内7つの主要国道(ステーション)において, 清掃車により回収された路面上堆積物量を計測した. また, 塵埃データに含まれる粒子状物質(多環芳香族炭化水素類(PAHs))の含有量も調べた. こ

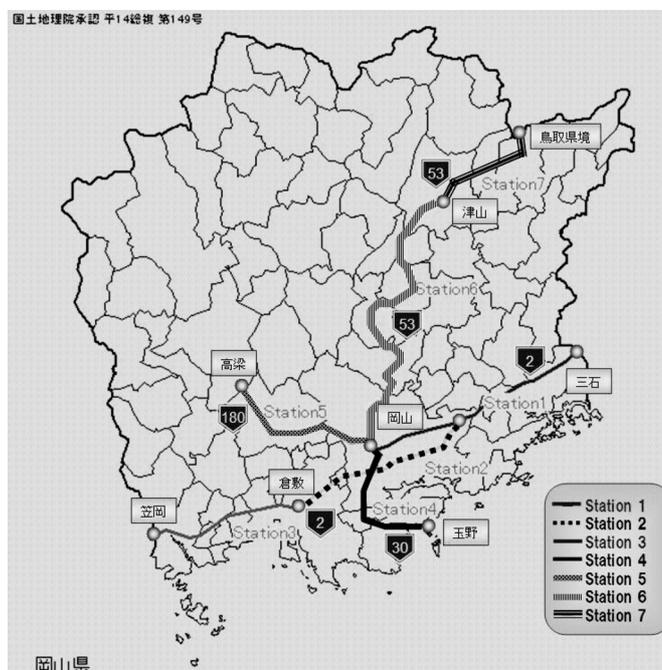


図 1. データを収集した岡山県内の道路地図(ステーション 1~7).

れらはディーゼルエンジンなどから排出され、塵埃などに付着し道路上に堆積する。なお、ステーションは以下の通りであり、その位置を図1に示している。

- ステーション1：国道2号線県東部(三石から岡山)
- ステーション2：国道2号線県中央部(2号線バイパス)
- ステーション3：国道2号線県西部(倉敷から笠岡)
- ステーション4：国道30号線(岡山から玉野)
- ステーション5：国道180号線(岡山から高梁)
- ステーション6：国道53号線(岡山から津山の一部)
- ステーション7：国道53号線(津山から鳥取県境)

道路塵埃の清掃車による回収日を表1に示している。平均的に一月に一度回収が行われている。しかし、各月の堆積期間を示した表2を見ると、14日から50日とかなりばらつきがある。なお、1回の回収に1~4日かかっているが、その初日を回収日としている。また、道路上の塵埃の量は回収した領域の面積に依存するため、ステーション毎に区間距離及び車線数車道幅員、中央帯幅員を基に道路表面の面積を計算し、表3に記している。

環境汚染源として、毎月清掃車により回収された土量及び土量に含まれるPAHの量をステー

表1. 試料採取区間毎の回収日。

	Station1	Station2	Station3	Station4	Station5	Station6	Station7
1998 10月分	10月8日	10月8日	10月5日	10月1日	10月3日	10月6日	10月13日
11月分	11月6日	11月11日	11月5日	11月10日	11月7日	11月6日	11月13日
12月分	12月5日	12月2日	12月7日	12月15日	12月17日	12月17日	12月16日
1999 1月分	1月14日	1月12日	1月20日	1月6日	1月18日	1月8日	1月8日
2月分	2月2日	2月2日	2月12日	2月8日	2月3日	2月12日	2月5日
3月分	3月12日	3月9日	3月4日	3月1日	3月3日	3月17日	3月5日
4月分	4月28日	4月8日	4月15日	4月22日	4月21日	4月22日	4月15日
5月分	5月17日	5月19日	5月12日	5月17日	5月13日	5月17日	5月11日
6月分	7月1日	6月2日	6月15日	6月14日	6月23日	6月14日	6月16日
7月分	7月21日	7月13日	7月7日	7月8日	7月10日	7月16日	7月15日
8月分	8月21日	8月3日	8月25日	8月27日	8月26日	8月31日	8月18日
9月分	9月14日	9月21日	9月13日	9月16日	9月13日	9月17日	9月28日
10月分	10月31日	10月22日	10月18日	10月12日	10月7日	10月8日	10月19日
11月分	11月30日	11月7日	11月10日	11月5日	11月2日	10月30日	11月10日

表2. 試料採取区間毎の試料堆積期間(単位：日)。

	Station1	Station2	Station3	Station4	Station5	Station6	Station7
1998 11月分	29	33	31	41	35	31	41
12月分	29	21	32	35	40	41	33
1999 1月分	40	41	44	22	32	22	23
2月分	19	21	23	33	16	35	28
3月分	38	35	20	21	28	33	28
4月分	47	30	42	52	49	36	41
5月分	19	41	27	25	22	25	26
6月分	45	14	34	28	41	28	36
7月分	20	41	22	24	17	32	29
8月分	31	21	49	50	47	46	34
9月分	24	49	19	20	18	17	41
10月分	47	31	35	26	24	21	21
11月分	30	16	23	24	26	22	22
平均	32.15	30.31	30.85	30.85	30.38	29.92	31.00
標準偏差	10.36	11.00	9.70	10.77	11.28	8.46	7.25

表 3. 試料採取区間毎の区間距離及び区間面積(単位: km, 1,000m<sup>2</sup>).

	Station1	Station2	Station3	Station4	Station5	Station6	Station7
区間距離	41.2	50.4(55.5)	23.75	20.9	37.25	20.45	77.8
区間面積	27.192	73.59(80.322)	15.675	18.315	28.3668	18.678	59.202

(括弧内1999年度)

表 4. 試料採取区間毎の回収土砂(単位: m<sup>3</sup>).

	Station1	Station2	Station3	Station4	Station5	Station6	Station7
1998 11月分	7.2	18.6	2.9	4.9	8.9	4.2	9.5
12月分	6.6	14.3	2.6	3.6	2.4	1.6	9.4
1999 1月分	5.1	11.4	2.7	2.6	2.4	9.2	2.4
2月分	6.1	11.1	2.4	1.2	2.2	14.1	2.7
3月分	6.7	14.3	2.4	3.1	2.9	13.1	3.3
4月分	2.0	9.0	2.4	2.2	4.4	12.6	5.3
5月分	8.9	10.2	3.6	3.1	1.8	5.2	3.6
6月分	0.8	7.0	2.4	2.4	2.7	6.6	3.0
7月分	5.7	9.6	2.7	2.4	2.3	8.0	4.1
8月分	5.0	10.5	2.9	2.1	2.8	7.6	2.0
9月分	2.9	12.3	3.5	1.1	1.9	9.3	4.5
10月分	5.3	14.2	3.4	3.4	3.2	8.9	4.0
11月分	5.6	11.4	2.3	1.7	2.0	7.8	3.6
平均	5.22	11.84	2.78	2.60	3.07	8.32	4.42
標準偏差	2.20	2.97	0.45	1.04	1.88	3.56	2.40

表 5. 試料採取区間毎の乾燥土量(単位: kg).

	Station1	Station2	Station3	Station4	Station5	Station6	Station7
1999 1月分	7.2	17.3	3.8	3.9	3.5	13.9	3.8
3月分	9.3	17.6	4.0	4.7	4.9	20.6	4.5
5月分	13.3	15.4	5.2	4.9	2.8	8.2	5.8
7月分	8.7	14.5	3.5	3.8	3.4	12.8	5.9
9月分	4.0	17.0	5.0	1.7	3.0	13.9	6.8
11月分	8.9	14.9	3.4	2.8	3.3	13.5	6.7
平均	8.56	16.11	4.14	3.63	3.48	13.83	5.57
標準偏差	3.01	1.32	0.76	1.19	0.75	3.96	1.21

ステーション4, 9月分補間

ション毎に収集した。これらに影響を与える環境因子として、自動車交通量、日照時間、降水量、有害紫外線量を取り上げた。以下に、それぞれのデータについて述べる。

## (1)回収土量

道路清掃業者が毎月回収した土砂の体積(m<sup>3</sup>)を表4に示している。また、比重、乾燥重量/湿潤重量を用いて、回収乾燥土量を表5に計算している。ただし、比重などの値は1999年1月から11月まで2ヶ月毎しか計測していないので、それに対応した月のみの値である。

## (2)PAH含有量

回収土量に含まれる、つぎに示す8種類の75μ分画以下のPAHsの含有量(μg/g)を1999年1月から11月まで2ヶ月毎に調べ、表6に示している。Phenanthren, Anthracen, Fluoranthene, Pyrene, Benzo(a) anthracene, Chrysene+triphenylen, Benzo(b+j+k) Fluoranthene, Benzo(a) pyrene.

## (3)自動車交通量

建設省道路交通局(1998)に基づき、ステーション毎に数カ所の観測点を取り、観測点間の距離と交通量の加重平均をもってステーションの1日当たりの平均交通量を求め、表7に示している。表では、基本集計表で分類されている、軽乗用車、乗用車、バス、軽貨物車、小型貨物

表 6. 75 $\mu$  分画以下の PAHs の含有量(単位:  $\mu\text{g/g}$ ).

PAHs Phenanthren							
	Station1	Station2	Station3	Station4	Station5	Station6	Station7
1月分	1.42	0.72	0.54	0.60	0.86	0.39	0.58
3月分	0.94	0.46	0.62	0.45	0.31	0.18	0.17
5月分	0.35	0.41	0.36	0.22	0.25	0.14	0.25
7月分	0.24	0.23	0.13	0.09	0.00	0.02	0.00
9月分	1.22	0.56	1.32	0.00	0.26	0.12	0.07
11月分	0.95	2.25	1.81	1.93	0.40	1.16	0.34

Anthracen							
	Station1	Station2	Station3	Station4	Station5	Station6	Station7
	0.37	0.13	0.14	0.05	0.18	0.07	0.03
	0.29	0.05	0.15	0.08	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.12	0.03	0.04	0.00	0.00	0.01	0.00
	0.02	0.31	0.09	0.17	0.03	0.09	0.03

Fluoranthene							
	Station1	Station2	Station3	Station4	Station5	Station6	Station7
1月分	2.50	1.30	0.93	0.96	1.57	0.69	0.86
3月分	1.75	0.78	1.02	0.75	0.49	0.28	0.32
5月分	0.69	0.89	0.61	0.43	0.42	0.21	0.35
7月分	0.30	0.51	0.17	0.13	0.00	0.00	0.00
9月分	2.15	0.97	1.21	0.00	0.58	0.16	0.26
11月分	1.68	3.76	4.92	2.82	0.63	1.85	0.75

Pyrene							
	Station1	Station2	Station3	Station4	Station5	Station6	Station7
	3.24	1.78	1.47	1.19	1.97	1.08	1.09
	2.22	1.10	1.62	1.03	0.73	0.38	0.49
	0.84	1.07	0.83	0.45	0.49	0.35	0.41
	0.62	0.62	0.21	0.18	0.00	0.00	0.00
	3.21	2.21	2.22	0.00	0.94	0.42	0.29
	2.16	8.45	0.44	3.69	1.29	3.60	2.04

Benzo(a)anthracene							
	Station1	Station2	Station3	Station4	Station5	Station6	Station7
1月分	1.60	0.89	0.44	0.40	0.78	0.39	0.12
3月分	1.10	0.47	0.43	0.38	0.08	0.00	0.00
5月分	0.28	0.49	0.48	0.19	0.16	0.00	0.09
7月分	0.69	0.34	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00
9月分	2.25	1.30	0.33	0.00	0.46	0.06	0.04
11月分	0.34	5.11	0.84	0.56	0.03	1.08	0.09

Chrysene+triphenylen							
	Station1	Station2	Station3	Station4	Station5	Station6	Station7
	3.33	1.68	0.69	0.75	1.45	0.67	0.42
	2.43	0.76	0.77	0.64	0.31	0.00	0.00
	0.76	0.93	0.64	0.32	0.20	0.00	0.14
	1.34	0.57	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00
	3.82	3.58	1.01	0.00	0.05	0.71	0.41
	1.22	8.75	2.23	1.61	0.39	1.75	0.67

Benzo(b+j+k)Fluoranthene							
	Station1	Station2	Station3	Station4	Station5	Station6	Station7
1月分	2.60	1.52	1.00	0.95	1.59	0.86	0.67
3月分	2.04	0.96	1.14	1.01	0.44	0.00	0.00
5月分	0.66	1.05	0.78	0.42	0.32	0.00	0.00
7月分	0.69	0.56	0.13	0.15	0.00	0.00	0.00
9月分	2.48	1.56	1.16	0.00	0.00	0.35	0.27
11月分	0.78	3.89	0.62	1.73	0.47	1.46	0.47

Benzo(a)pyrene							
	Station1	Station2	Station3	Station4	Station5	Station6	Station7
	1.28	0.66	0.41	0.45	0.66	0.38	0.32
	1.07	0.53	0.53	0.46	0.20	0.00	0.00
	0.35	0.51	0.33	0.19	0.18	0.00	0.00
	0.25	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3.85	2.08	1.69	0.00	0.00	0.18	0.00
	0.52	7.31	1.54	0.41	0.14	0.66	0.19

表 7. 試料採取区間毎の 1 日当たり車種別交通量(単位: 10 台).

	Station1	Station2	Station3	Station4	Station5	Station6	Station7
軽乗用車	154	340	305	216	140	218	69
乗用車	706	1,604	1,313	702	494	540	239
軽貨物車	154	368	256	155	128	119	58
貨客車	85	337	167	131	72	103	42
バス	15	7	12	16	9	11	8
小型貨物車	74	226	211	114	60	57	35
普通貨物車	397	910	508	139	123	146	58
特殊車	70	163	102	41	43	42	12
その他	196	275	426	206	202	133	79
合計	1,850	4,230	3,300	1,720	1,270	1,370	600

車, 貨客車, 普通貨物車, 特殊車, その他(バイクなど)に分類されているが, 軽乗用車, 乗用車, 軽貨物車, 貨客車のガソリン車とバス, 小型貨物車, 普通貨物車, 特殊車のディーゼル車に分けることができる(単位十台).

(4)日照時間・降水量, 降水回数

岡山県気象年報(岡山地方気象台防災業務課編(1999))を基に, 県内に点在する観測所の降水量(mm)と日照時間(時間)を参照した.

(5)紫外線量

紫外線量については, 観測データがある札幌, 筑波, 鹿児島, 那覇の4カ所の月積算値を利用した.

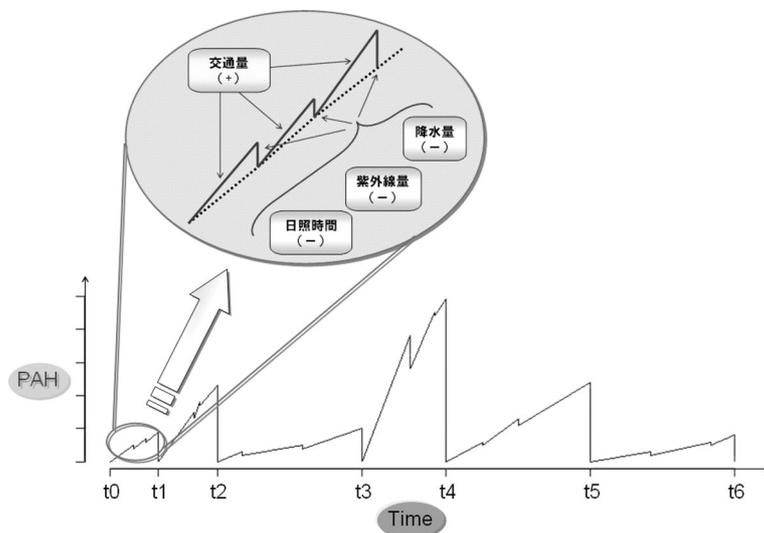


図 2. PAH が道路上で堆積，流出，分解するメカニズム．

### 3. データのマッチングと標準化

図 2 は， $tn (n = 1, 2, \dots)$ 時に清掃車が道路上堆積物を回収した際，予想される時間の変化にともなう，堆積物に含まれる PAH の量の変化のメカニズムを示している．すなわち，交通量の増加とともに PAH の量が増える一方，降水による流出や紫外線による分解によって量が減少する．

表 6 は，二月毎に収集した PAH の値を示しているが，値は回収までに累積された PAH の量 ( $t_1$  時においては  $t_0$  月から  $t_1$  月の量)であり，二月毎に約一月分の量を回収していることになる．しかし，単純に月毎，ステーション毎の比較はできない．表 2 や表 3 に示すように月やステーション間で回収開始時期や堆積期間が異なり，ステーション間で区間面積が異なる．よって，今回収集したデータの解析を進めるに当たり，以下のような点に注意しなければならない．

- (1)ステーション毎や月毎に堆積期間が不揃い
- (2)ステーション毎に道路の観測区間，観測面積が不揃い
- (3)降水量，日照時間，紫外線量データの推定
- (4)データの数が少ない

(1)(2)については，全ステーションのデータを利用した解析や，ステーション間の比較を行う場合は，堆積期間，区間面積のマッチングをとる必要が生ずる(3)の降水量及び日照時間については，得られる観測所の降水量と日照時間を参照し，Tiesen 分割法によりステーション毎に堆積期間における降水量及び 1 ミリ以上の回数(表 8，単位 mm，回)と日照時間(表 9，時間)を計算した．紫外線量は，地球の地軸が傾いていることにより季節によって異なる．また，近日点，遠日点，昼の長さなども含めた紫外線量の計算が必要となる．よって，紫外線量については，全国 4 カ所のデータを用いて，緯度及び季節の補正を行った．ここでは，地軸の傾きと公転軸のなす角度により紫外線量が定まると仮定して，岡山地区の各月の紫外線量を求めた．岡山の紫外線推定量，及び紫外線量が観測されている札幌，筑波，鹿児島，那覇の紫外線月算

表 8. 試料採取区間別の降水量(単位: mm, 回).

	Station1		Station2		Station3		Station4		Station5		Station6		Station7	
	降水量	回数												
1998 11月分	163	9	146	8	189	8	188	11	210	10	205	8	164	7
12月分	4	1	4	1	10	2	11	3	10	3	9	2	13	4
1999 1月分	7	2	11	2	12	2	4	1	7	1	5	1	22	4
2月分	17	3	16	3	27	3	19	3	17	3	34	4	28	5
3月分	59	9	63	8	29	4	34	5	48	7	56	7	40	6
4月分	149	17	66	11	99	17	116	16	143	17	99	12	166	14
5月分	60	2	107	7	82	5	48	2	59	2	56	2	115	7
6月分	314	15	76	3	124	5	106	5	181	11	120	5	157	9
7月分	86	3	272	13	245	10	228	10	174	7	236	10	319	12
8月分	105	11	119	5	179	10	119	12	157	13	143	7	132	6
9月分	34	6	92	14	53	5	80	8	34	5	69	6	292	20
10月分	180	10	66	9	108	11	53	7	118	10	58	5	21	5
11月分	67	7	49	2	55	3	51	3	57	4	33	1	62	2
平均	95.69	7.31	83.80	6.62	93.28	6.54	81.31	6.62	93.51	7.15	86.38	5.38	117.68	7.77
標準偏差	87.57	5.12	70.68	4.35	74.10	4.43	68.49	4.54	72.55	4.79	71.94	3.43	101.67	4.94

表 9. 試料採取区間別の日照時間(単位: 時間).

	Station1	Station2	Station3	Station4	Station5	Station6	Station7
1998 11月分	99.9	135.6	116.2	181.9	130.3	116.3	103.6
12月分	174.2	112.3	164.3	174.7	206.2	204.5	122.2
1999 1月分	237.3	222.4	243.7	134.2	183.8	129.4	100.8
2月分	91.5	105.8	139.7	200.5	79.5	212.9	124.6
3月分	199.1	190.0	119.5	120.5	150.9	167.7	142.2
4月分	219.5	122.0	180.2	266.7	204.3	177.4	165.0
5月分	156.9	265.6	172.3	193.6	147.0	192.5	158.9
6月分	214.5	89.6	174.4	173.6	212.4	179.5	263.8
7月分	84.1	168.9	45.4	93.1	46.1	150.6	112.6
8月分	145.9	80.3	185.0	268.7	183.3	231.8	115.6
9月分	112.7	223.3	84.8	108.0	70.6	68.3	137.6
10月分	230.4	171.1	161.6	150.8	104.0	115.6	100.8
11月分	134.8	92.8	145.3	131.1	121.6	123.5	119.7
平均	161.59	152.30	148.64	169.03	141.52	159.23	135.95
標準偏差	54.99	59.48	49.76	54.86	55.31	46.88	43.61

表 10. 全国 4 カ所の紫外線月算量と岡山市の推定量(単位: KJm<sup>2</sup>).

	札幌		筑波		鹿児島		那覇		岡山	
	紫外線量	cos φ								
1998.11	3.00	0.48	7.00	0.58	9.40	0.65	11.10	0.71	7.63	0.60
12	1.80	0.40	4.70	0.51	8.20	0.58	9.90	0.65	6.13	0.54
1999.1	1.90	0.43	5.90	0.54	8.50	0.61	10.00	0.68	6.56	0.56
2	4.00	0.56	8.30	0.66	11.30	0.72	12.90	0.78	9.16	0.68
3	7.70	0.70	11.30	0.78	12.60	0.83	17.50	0.88	12.38	0.80
4	11.50	0.83	15.90	0.89	20.90	0.93	25.10	0.96	18.73	0.91
5	13.80	0.91	20.70	0.95	23.00	0.98	23.40	0.99	20.78	0.96
6	20.40	0.94	20.90	0.97	19.90	0.99	30.80	1.00	23.57	0.98
7	20.70	0.93	26.10	0.97	26.90	0.98	31.70	1.00	27.05	0.97
8	21.80	0.87	28.00	0.93	27.40	0.95	30.30	0.98	27.18	0.94
9	14.40	0.77	17.80	0.84	20.10	0.88	29.40	0.92	20.67	0.85
10	6.80	0.62	10.10	0.71	14.50	0.77	19.60	0.82	12.83	0.73
11	2.60	0.48	6.80	0.58	8.80	0.65	13.80	0.71	8.00	0.60

量と垂直面積に対する比率を表 10 に示している (4) のデータ数が少数個であることについては、解析の時に検討する。

今回得られたデータの堆積期間、区間面積、月毎のデータ収集開始時点などを整理すると、表 11 が得られる。表の中で交通量と紫外線量は、表 2 の堆積期間に対応していない。交通量

表 11. データの試料堆積期間, 区間面積, 月毎のデータ収集開始時点. ただし, 表の測定期間において, A は 1998 年 11 月から 1999 年 11 月まで一月毎, B は 1999 年 1 月から 11 月まで二月毎, C は 1997 年度に測定.

	表	測定期間	堆積期間	区間面積に依存	回収期間に依存	月毎の開始時期
回収土量	4	A	表2	○	○	表1
乾燥土量	5	B	表2	○	○	表1
PAH含有量	6	B	表2		○	表1
車種別交通量	7	C	日算量			
降水量	8	A	表2に対応		○	表1
日照時間	9	A	表2に対応		○	表1
紫外線量	10	A	月算量			1日

表 12. 試料採取区間毎の平均交通量(単位:万台).

	Station1	Station2	Station3	Station4	Station5	Station6	Station7
1998 11月分	54	141	102	71	44	42	25
12月分	54	90	106	60	51	56	20
1999 1月分	74	175	145	38	41	30	14
2月分	35	90	76	57	20	48	17
3月分	70	150	66	36	36	45	17
4月分	87	128	139	89	62	49	25
5月分	35	175	89	43	28	34	16
6月分	83	60	112	48	52	38	22
7月分	37	175	73	41	22	44	17
8月分	57	90	162	86	60	63	20
9月分	44	210	63	34	23	23	25
10月分	87	133	116	45	30	29	13
11月分	56	68	76	41	33	30	13

表 13. 試料採取区間毎の紫外線推定量(単位:KJm<sup>2</sup>).

	Station1	Station2	Station3	Station4	Station5	Station6	Station7
1998 11月分	10.9	12.3	12.1	15.6	13.7	11.9	10.6
12月分	7.2	5.1	8.0	8.2	9.4	9.7	7.6
1999 1月分	8.5	8.7	9.4	4.6	6.8	4.6	4.8
2月分	4.6	5.1	6.2	8.1	4.0	8.8	6.8
3月分	12.7	11.5	6.7	6.8	9.0	11.9	9.1
4月分	25.7	14.4	20.5	26.1	24.7	19.8	20.1
5月分	13.6	26.8	17.7	16.7	14.6	16.7	17.0
6月分	34.0	10.2	25.0	20.8	30.8	20.8	26.5
7月分	17.7	33.5	18.3	19.9	14.5	27.1	24.6
8月分	27.9	19.0	43.8	44.6	42.0	40.7	30.7
9月分	18.6	39.4	14.6	15.0	13.7	12.4	30.1
10月分	23.5	15.5	19.3	14.6	14.3	12.1	10.1
11月分	8.4	5.6	8.0	9.1	10.5	9.0	7.6
平均	16.40	15.93	16.11	16.16	16.00	15.81	15.83
標準偏差	9.06	11.00	10.27	10.59	10.56	9.57	9.48

は, 単純に表 2 の堆積期間を乗ずることにより表 12 のように得られる. 紫外線量は, 表 10 で与えられる月積算値を日数で割った量を月の中央(15日)の値と仮定して, 線形補間法により各日の1日当たりの量を推定し, 表 2 の期間に基づいて各月の紫外線量を求めた. 推定された紫外線量を表 13 に示している. なお, 表 12 と表 13 のデータは堆積期間に依存した量になっている.

使用するデータを要約すると, 以下のようになる.

## (1) 試料回収日(表 1)

ステーション毎に収集(3 から 7 カ所の合計). データはステーション毎の回収日初日・期日は, 1998 年 11 月から 1999 年 11 月まで 1ヶ月毎.

## (2) 試料堆積期間(表 2) day

ステーション毎に計算(表 1 から算出)(単位: 日), 16 日から 50 日までのばらつき有り, 期日は 1998 年 11 月から 1999 年 11 月まで 1ヶ月毎.

## (3) 区間距離と区間面積(表 3) area

ステーション毎に計算(単位: キロメートル,  $10^3$  平方メートル), 区間面積は, 区間距離と車線数車道幅員, 中央帯の幅員などから算出.

(4) 回収土量(表 4) vol( $m^3$ )

ステーション毎に回収した土量の体積(単位: 立方メートル), 1998 年 11 月から 1999 年 11 月まで 1ヶ月毎, 区間面積と堆積期間に依存.

## (5) 乾燥土量(表 5) weight(kg)

ステーション毎に重量を計算(単位: キログラム), 表 4 を基に比重, 乾燥重量/湿潤重量を用いて計算, 1999 年 1 月から 1999 年 11 月まで 2ヶ月毎, ただしデータは 1ヶ月間に含まれる量. 区間面積と堆積期間に依存.

(6) PAH 含有量(表 6) PAH( $\mu g/g$ )

ステーション毎に塵埃に含まれる 8 種類の PAH の量(単位:  $\mu g/g$ ), 1999 年 1 月から 1999 年 11 月まで 2ヶ月毎, ただしデータは 1ヶ月間に含まれる量, 一部欠損値有, 堆積期間に依存.

## (7) 平均交通量及び車種別交通量(表 7, 表 12) traffic(万台)

建設省道路局(1998)のデータ, ステーション毎に距離と台数の加重平均に堆積期間をかけた 1 日当たりの交通量, 表 12 は堆積期間を調整済み(単位: 万台).

## (8) 降水量(表 8) rain(mm) n.rain(回)

岡山県気象年報(岡山地方気象台防災業務課編(1999))により, 試料回収区間を参照し, Tiesen 分割法を用いて合計降水量(単位: ミリ)と 1 ミリ以上の降水があった回数を計算. 1998 年 11 月から 1999 年 11 月まで 1ヶ月毎. 堆積期間を調整済み.

## (9) 日照時間(表 9) sun(時間)

岡山県気象年報(岡山地方気象台防災業務課編, 岡山地方気象台)により, 試料回収区間を参照し, Tiesen 分割表を用いて合計日照時間(単位: 時間)を計算. 1998 年 11 月から 1999 年 11 月まで 1ヶ月毎. 堆積期間を調整済み.

(10) 紫外線量(表 10, 表 13) ult( $KJm^2$ )

気象庁有害紫外線観測所の値を利用, 札幌, 筑波, 鹿児島, 那覇の 4 カ所で観測値が計測されているが, 紫外線は地軸の傾きと公転軸のなす角度に依存するので, 4 カ所の値を利用し最小二乗法で推定. 紫外線値( $KJ$  平方メートル). 1998 年 11 月から 1999 年 11 月まで 1ヶ月毎. 表 13 は堆積期間を調整済み.

## 4. 線形モデルによる解析

## 4.1 回収土量と環境因子の関係

表 11 において測定された期間が 1998 年 11 月から 1999 年 11 月まで一月毎に得られたデータ(A)を対象として分析を行う. 表 2 の堆積期間(day)に対応する, 回収土量(vol), 交通量(traffic), 日照時間(sun), 降水量(rain), 紫外線(ult)の値を計算し, 6 変数の対散布図を図 3 に示している.

ここでは, 回収土量と他の環境因子との関係が興味の対象である. 回収土量(vol)を縦軸の

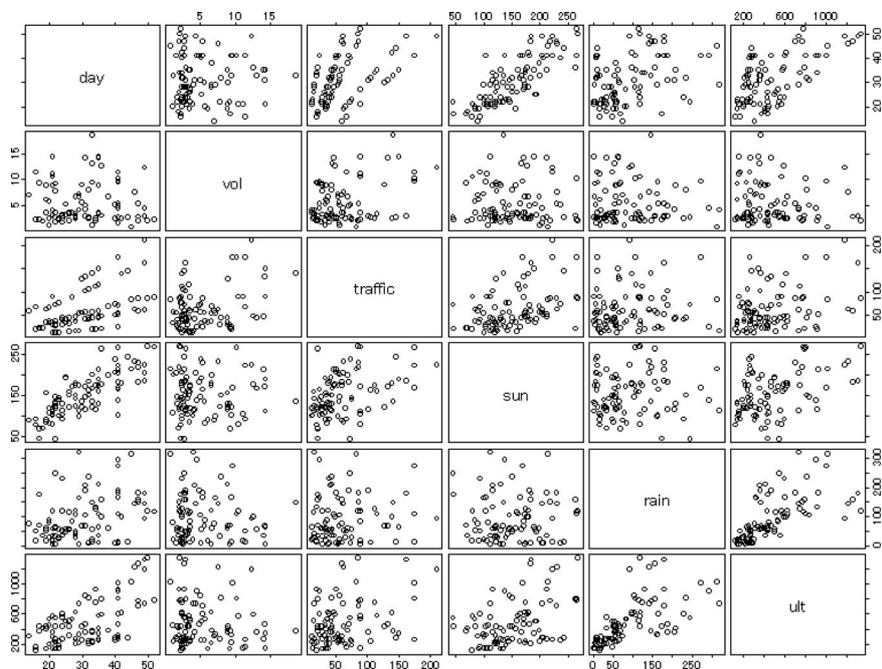


図3. 堆積期間(day), 回収土量(vol), 交通量(traffic), 日照時間(sun), 降水量(rain), 紫外線(ult)の対散布図.

目的変数として、2段目の行を横に散布図を見ることにより、各変数との関係を調べると、交通量(traffic)と若干の正の相関関係が見られるが、その他の日照時間、降水量、紫外線とはほとんど無相関である。また、堆積期間(day)を横軸の説明変数として、1番左の列を縦に散布図を見ていくと、日照時間(sun)、紫外線量(ult)に対して正の相関があり、堆積期間の日数の増加に伴い、日照時間、紫外線量が増加するという自然な結果が見取れる。なお、交通量に対して層別の直線関係が見られるが、この層はステーションを表している。このように、全てのステーションをプールして解析した場合、回収土量と他の環境因子の関連はほとんど見つけられない。しかし、図4のように堆積期間と回収土量の関係をステーション毎に層別して調べると、ある傾向が出てくる。図4は図3の2段目1番左の相関図をステーション毎に分けて表示したものである。図の中の数字はステーション番号を表し、直線は最小2乗法による回帰直線を表している。ステーション5と7では、外れ値と思われるデータを除去した時の回帰直線(破線)も示している。これらの直線の傾きを調べると以下ようになる。

ステーション1:  $-0.119$ , ステーション2:  $0.053$   
 ステーション3:  $-0.002$ , ステーション4:  $0.014$   
 ステーション5:  $0.058$  (0.039 外れ値を除いた場合)  
 ステーション6:  $-0.027$   
 ステーション7:  $0.154$  (0.049 外れ値を除いた場合)

ステーション2, 5, 7においては、堆積期間の増加とともに回収土量は若干増加しているが、外れ値を除いた場合、1日あたり0.05立方メートル以下の増加にとどまっている。それ以外は、ほぼ横ばいもしくはやや減少傾向にあり、堆積期間が長くなっても回収土量はあまり変わらない。

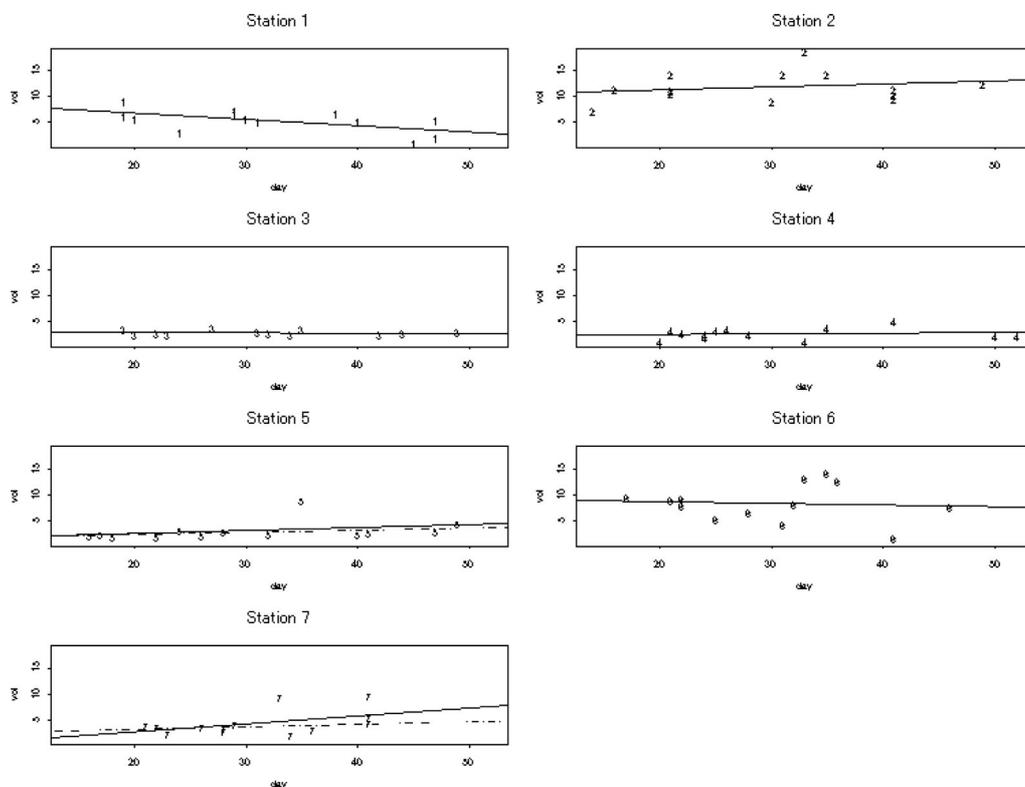


図 4. ステーション毎に層別した堆積期間(day)と回収土量(vol)の関係.

い. すなわち, 一般には道路上の土量は日々蓄積されて増加するはずであるが, 堆積期間が 20 日を超えた状況では回収土量があまり変わらないことを示している.

回収土量と環境因子のデータ構造は, ステーション毎に異なっているので, 回収土量を 1 日,  $1 \times 10^3 \text{m}^2$  当たりの量(s.vol)に変換し標準化する. 環境因子についても標準化を行い, 1 日当たりの交通量(s.traffic), 降水量(s.rain), 30 日当たりの 1 ミリ以上降水量の回数(ns.rain)を利用する.

まず, 標準化された回収土量(以下回収土量)(s.vol)を目的変数とし, 回収土量に関連する可能性のある環境因子と堆積期間(day)を説明変数とする, 以下のような線形重回帰モデルを考える.

$y_j^{(k)}$  を目的変数(s.vol),  $x_{ij}^{(k)}$  を説明変数(堆積期間( $i = 1$ ), 交通量( $i = 2$ ), 降水量( $i = 3$ ), 1 ミリ以上の降水量の回数( $i = 4$ ))とする. ただし,  $j$  は 1998 年 11 月から 1999 年 11 月分データ,  $k$  はステーション( $k = 1, 2, \dots, 7$ ),  $\beta_i$  は回帰係数( $i = 0, 1, \dots, 4$ ), ( $j = 1, 2, \dots, 13$ )を表す.

$$Y = X\beta + \varepsilon$$

ここに,

$$Y = [y_j^{(k)}], \quad X = [x_{ij}^{(k)}], \quad \beta = [\beta_i], \quad \varepsilon = [\varepsilon_j]$$

とする. ただし,  $x_{0j}^{(k)} = 1$ ,  $\varepsilon$  は誤差ベクトルである.

全てのステーションのデータに対して、変数選択の増減を行う限界値の F 値を 2.0 として、変数増減法による変数選択の結果、説明変数として堆積期間( $i = 1$ )だけの回帰モデル(モデル 1, データ数 91)が得られた。

$$s.vol = 1.2872 - 0.0203 \text{ day}$$

決定係数  $R^2=0.126$ , 自由度調整済み決定係数  $R^2=0.116$ ,  $AIC=25.086$  とあまりモデルの当てはまりは良くなかった。回帰係数推定値と対応する p 値を表 14 に示している。なお、分散比(自由度対(1,89)F 統計量)は, 12.79 であり p 値は 0.00056 である。

一般に、データの構造はステーションにより異なり、統一的な検討は難しくなる。特に、データ数が少ない場合その傾向は強まる。そこで、ステーションの中で、モデル 1 に比較的当てはまりが良く、データの構造が類似しているステーションの検出を行う。回収土量を目的変数とし、先ほどの回帰式で得られた堆積期間を説明変数とするモデルをステーション毎に考えた。その結果、以下の決定係数が得られた。

ステーション 1 : 0.675, ステーション 2 : 0.603  
 ステーション 3 : 0.680, ステーション 4 : 0.257  
 ステーション 5 : 0.075, ステーション 6 : 0.447  
 ステーション 7 : 0.000

説明変数として、降水量や 1 ミリ以上の降水量の回数を加えても、同様な結果が得られた。

表 14. 目的変数を(s.vol)としたモデル 1 に対する回帰係数推定値と対応する p 値(データ:全ステーション, 91 ケース).  $R^2=0.126$ , 自由度調整済み  $R^2=0.116$ ,  $AIC=25.086$ .

変数	回帰係数( $\beta$ )	$\beta$ の標準誤差	t値	p値
定数項	1.2872	0.1834	7.0173	0.0000
day	-0.0203	0.0057	-3.5757	0.0006

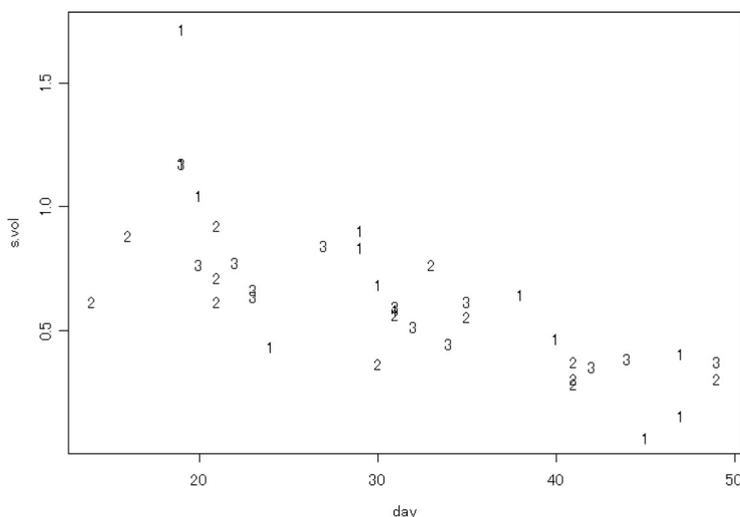


図 5. ステーション 1, 2, 3 を一つの群としたときの堆積期間(day)と標準化した回収土量(s.vol)の関係(数字はステーション番号)。

決定係数の高いステーション 1 から 3 に対して、堆積期間と回収土量の散布図を求めたところ、図 5 のように負の相関が見られた。そこで、ステーション 1 から 3 までが、回収土量に関するモデルが似た構造を持つと仮定して解析を進める。再びステーション 1 から 3 までのデータに対して、重回帰モデルを考え、前回と同じ規準で変数増減法に基づき変数選択を行ったところ、次の回帰モデル(モデル 2, データ数 39)

$$s.vol = 1.6637 - 0.0224 \text{ day} - 0.0150 \text{ ns.rain} - 0.0759 \text{ s.traffic}$$

が得られ、決定係数  $R^2=0.623$ , 自由度調整済み決定係数  $R^2=0.589$ ,  $AIC=1.731$  とモデルの当てはまりは良くなった。なお、分散比(自由度対(3,35)F 統計量)は、19.26 であり、p 値は 0.00000 である。表 15 に、回帰係数推定値と対応する p 値を示している。目的変数とした標準化された回収土量(s.vol)は、1 日、 $10^3 \text{ m}^2$  当たりの量なので、毎日一定量の塵埃が道路上に堆積された場合、堆積期間にかかわらず一定になる。しかし、偏回帰係数が有意となった堆積期間は 1 日当たり 224 立方センチメートル、有意とはならなかったが 30 日当たりの 1 ミリ以上の降水量の回数 1 回当たり 150 立方センチメートルの割合で 1 日当たりの回収土量は減少している。これは、降水及び他の要因(風など)により、塵埃は時間の経過とともに道路上から排除され、一定の割合で単調には増加しないことを示している。次に、堆積期間、1 ミリ以上の降水があった回数と回収土量の空間的構造を調べる。交通量については、ステーション内では同じ値であり 3 つの値しかとらないのでここでは除外する。図 6 は、X 軸を堆積期間、Y 軸を 30 日当

表 15. 目的変数(s.vol)としたモデル 2 に対する回帰係数推定値と対応する p 値(データ:ステーション(1, 2, 3), 39 ケース).  $R^2=0.623$ , 自由度調整済み  $R^2=0.589$ ,  $AIC=1.731$ .

変数	回帰係数( $\beta$ )	$\beta$ の標準誤差	t 値	p 値
定数項	1.6659	0.1584	10.5170	0.0000
day	-0.0224	0.0033	-6.8494	0.0000
s.traffic	-0.0759	0.0322	-2.3582	0.0241
ns.rain	-0.0150	0.0102	-1.4735	0.1496

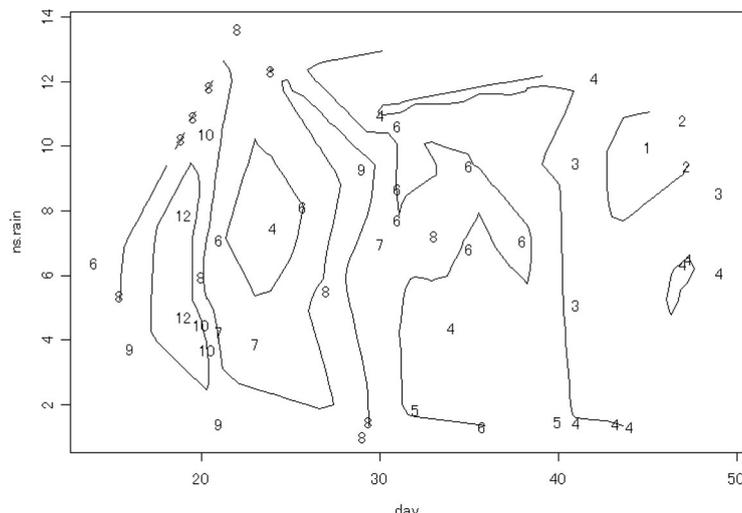


図 6. 堆積期間(day)と 1 月当たりの降水回数(ns.rain)平面上での標準化した回収土量(s.vol)の等高線。

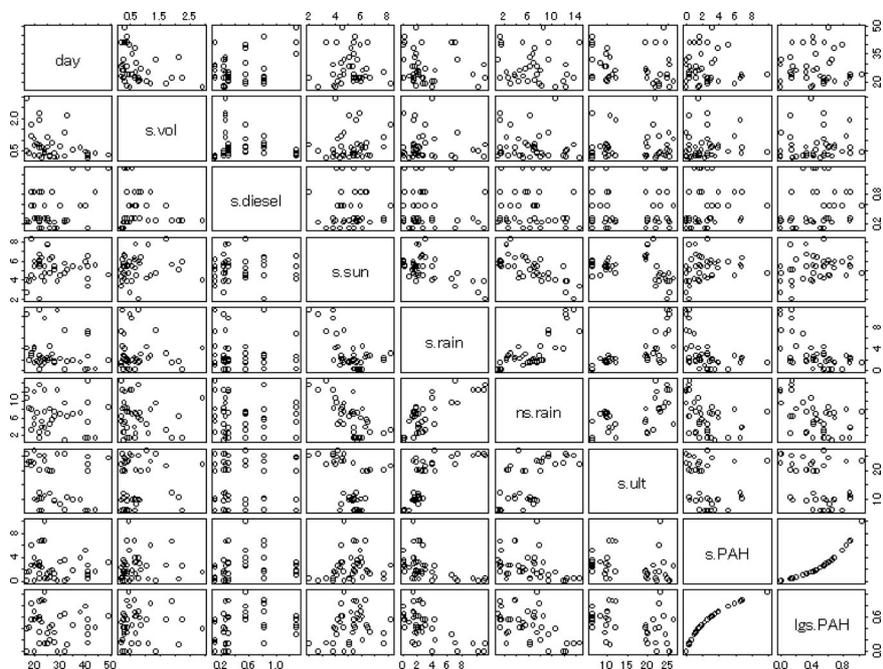


図 7. 堆積期間(day), 標準化した回収土量(s.vol), ディーゼル車の量(s.diesel), 日照時間(s.sun), 降水量(s.rain), 1 ミリ以上の降水回数(ns.rain), 紫外線(s.ult), PAH の量(s.PAH)及び対数化した PAH の量(lgs.PAH)の対散布図(外れ値削除).

りの 1 ミリ以上の降水量の回数とした時, 標準化回収土量の値(単位:  $10^3$  立方センチメートル)及び等高線を示している. 標準化回収土量が堆積期間の増加とともに減少することや, 1 ミリ以上の降水量の回数とともに減少することが見て取れる.

#### 4.2 1 日当たりの PAH と環境因子の関係

この節では PAH と他の環境因子との関係について調べる. PAH は, 表 11 に示すように 1999 年 1 月から 11 月まで二月毎にデータが得られている. なお, PAH の値は, 表 6 における 8 種類の含有量の平均を用いる. 各ステーションで測定されたデータ数が 6 と少なく, ステーション毎にデータの構造が異なっているので, 前節と同様, 1 日当たりにデータを標準化した PAH の量(s.PAH) (単位:  $10^{-2} \mu\text{g/g}$ ) を利用して解析を進める. 図 7 に標準化した PAH の量(s.PAH) 及び回収土量(s.vol), ディーゼル車の量(s.diesel), 日照時間(s.sun), 降水量(s.rain), 30 日当たり 1 ミリ以上の降水量の回数(ns.rain), 30 日当たりの紫外線量(s.ult) の対散布図を示している. ただし, ステーション 2 の 11 月における s.PAH データは, 他のデータから大きく外れており, この散布図から削除して表示している.

まず, 標準化した PAH を目的変数に対して, 説明変数を標準化した回収土量(s.vol), ディーゼル車の量(s.diesel), 日照時間(s.sun), 降水量(s.rain), 1 ミリ以上の降水量の回数(ns.rain), 紫外線量(s.ult), 堆積期間(day)として, 全ステーションの大きさ 42 のデータを用いた重回帰モデルを考える. 前節と同じ規準に基づき変数選択を行ったところ, モデル 3 (データ数 42)

$$\text{s.PAH} = 10.7835 - 0.2968 \text{ day} + 7.1375 \text{ s.diesel} - 0.2052 \text{ s.ult}$$

表 16. 目的変数を(s.PAH)としたモデル3 に対する回帰係数推定値と対応する p 値(データ:全ステーション, 42 ケース).  $R^2=0.394$ , 自由度調整済み  $R^2=0.346$ , AIC=751.429.

変数	回帰係数( $\beta$ )	$\beta$ の標準誤差	t値	p値
定数項	10.7835	2.6961	3.9997	0.0003
day	-0.2968	0.0822	-3.6115	0.0009
s.diesel	7.1375	1.7284	4.1296	0.0002
s.ult	-0.2052	0.0872	-2.3542	0.0238

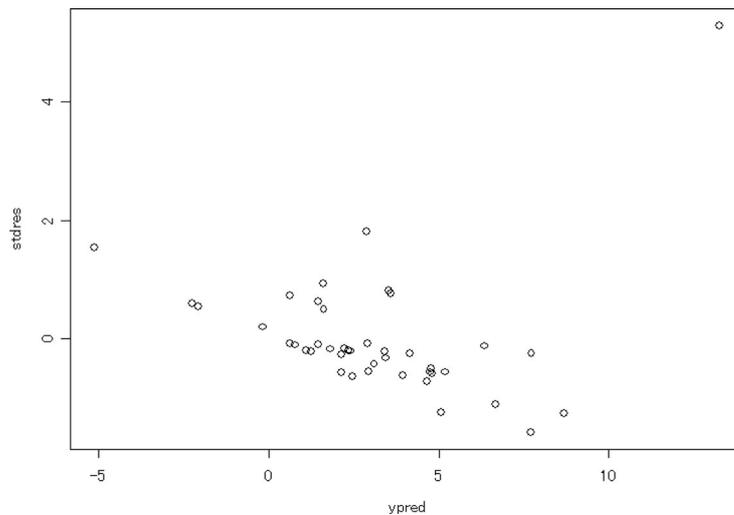


図 8. 予測値と標準化残差の残差プロット.

表 17. 目的変数を(lgs.PAH)としたモデル4 に対する回帰係数推定値と対応する p 値(データ:全ステーション, 外れ値削除, 41 ケース).  $R^2=0.564$ , 自由度調整済み  $R^2=0.501$ , AIC=1.801.

変数	回帰係数( $\beta$ )	$\beta$ の標準誤差	t値	p値
定数項	1.3002	0.2713	4.7930	0.0000
day	-0.0104	0.0043	-2.3926	0.0222
s.diesel	0.2704	0.0940	2.8762	0.0068
s.sun	-0.0732	0.0352	-2.0807	0.0448
s.rain	-0.0525	0.0169	-3.1116	0.0037
ns.rain	-0.0239	0.0149	-1.6016	0.1182

が得られ, 決定係数  $R^2=0.394$ , 自由度調整済み決定係数  $R^2=0.346$ , AIC=751.429 とモデルの当てはまりは良くなかった. 表 16 に回帰係数推定値と対応する p 値を示している. なお, 分散比(自由度対(3,38)F 統計量)は, 8.234 であり, p 値は 0.00024 である. 目的変数の予測値に対する, 標準化残差プロット(図 8)を求めたところ, ステーション 2 の 11 月のデータは他のデータに比べて大きく離れているので, このデータを削除して解析を進める. また, 残差に偏ったパターンがあるので, 底 10 の対数変換  $\text{lgs.PAH}=\log_{10}(\text{s.PAH}+1)$  を行う. 対数変換したデータ lgs.PAH を目的変数に対して, 大きさ 41 のデータを用いて, 今までと同様の手順で変数選

表 18. 目的変数を( $\lg s.PAH$ )としたモデル 5 に対する回帰係数推定値と対応する  $p$  値(データ:ステーション(2, 3, 5, 7), 23 ケース).  $R^2=0.698$ , 自由度調整済み  $R^2=0.667$ ,  $AIC=0.524$ .

変数	回帰係数( $\beta$ )	$\beta$ の標準誤差	t値	p値
定数項	0.4073	0.0636	6.4011	0.0000
s.vol	0.4387	0.1154	3.8011	0.0011
s.rain	-0.0515	0.0088	-5.8382	0.0000

択を行ったところ, モデル 4

$$\lg s.PAH = 1.3002 - 0.0104 \text{ day} + 0.2704 \text{ s.diesel} - 0.0732 \text{ s.sun} \\ - 0.0525 \text{ s.rain} - 0.0239 \text{ ns.rain}$$

(決定係数  $R^2=0.564$ , 自由度調整済み決定係数  $R^2=0.501$ ,  $AIC=1.801$ )が選択された. 表 17 に回帰係数推定値と対応する  $p$  値を示している. モデル 4 では, 標準化した降水量やディーゼル車の量の  $p$  値が小さくなっている. PAH の量は単位を元に戻すと, 降水量 1 ミリ当たり 0.114 減少し, ディーゼル車 1 万台当たり 0.864 増加する(単位:  $10^{-2} \mu\text{g/g}$ ). なお, 分散比(自由度対(5, 35)F 統計量)は, 8.234 であり,  $p$  値は 0.00001 である.

ステーション毎の解析は, データ数の大きさが 6 と少なく困難なので, モデル 4 に近い構造をもつステーション群を検出する. ここでは, モデル 4 で得られた標準化残差の絶対値の小さい順に順位をつけ, 順位が小さい群がモデル 4 に近い構造を持つと考える. ただし, ステーション 2 では外れ値(11 月)のデータ数を除いているため, 順位の平均をもとめると以下の結果が得られた.

ステーション 1 : 25.17, ステーション 2 : 19.80  
 ステーション 3 : 19.50, ステーション 4 : 20.83  
 ステーション 5 : 18.67, ステーション 6 : 23.67  
 ステーション 7 : 19.17

ステーション 2, 3, 5, 7 が他のステーションに比して, 当てはまりが良いので, ステーション(2, 3, 5, 7)をデータ構造が類似した群と考える. 対数変換した標準化 PAH を目的変数( $\lg s.PAH$ )に対して, 説明変数を標準化した回収土量(s.vol), 日照時間(s.sun), 降水量(s.rain), 1 ミリ以上の降水量の回数(ns.rain), 紫外線量(s.ult), 堆積期間(day)として, 重回帰モデルを考える. ディーゼル車の量(s.diesel)は, ステーション内では同じ値になるので対象から外した. 同様な手順による変数選択の結果, モデル 5(データ数 23)

$$\lg s.PAH = 0.4073 + 0.4387 \text{ s.vol} - 0.0515 \text{ s.rain}$$

(決定係数  $R^2=0.698$ , 自由度調整済み決定係数  $R^2=0.667$ ,  $AIC=0.524$ )が選択された. 表 18 に回帰係数推定値と対応する  $p$  値を示している. 分散比(自由度対(2, 20)F 統計量)は, 23.06 であり,  $p$  値は 0.00000 である. モデル 5 では, 標準化した降水量の  $p$  値が特に小さくなっている. PAH の量は対数変換を元に戻すと, 降水量では 1 ミリ当たり 0.112 減少する(単位:  $10^{-2} \mu\text{g/g}$ ).

図 9 は,  $X$  軸を標準化した回収土量,  $Y$  軸を降水量とした時, 対数変換した標準化 PAH(単位:  $10^{-3} \mu\text{g/g}$ )及び等高線を示している. 特に, 対数変換した標準化 PAH が降水量の増加とともに減少するのが見て取れる.

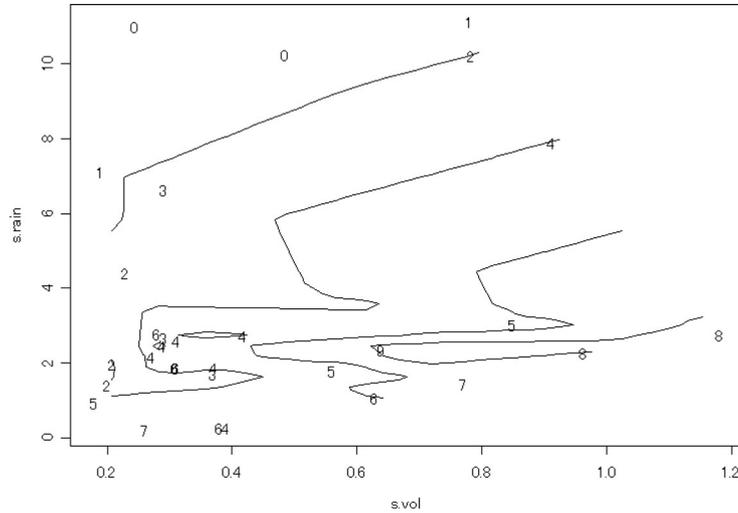


図 9. 標準化した回収土量(s.vol)と降水量(s.rain)平面上での対数変換した標準化 PAH (lgs.PAH)の等高線 .

表 19. 目的変数を(lgs.PAH)としたモデル 6 に対する回帰係数推定値と対応する p 値(データ: 9 月データ, 外れ値削除, 34 ケース).  $R^2=0.629$ , 自由度調整済み  $R^2=0.577$ , AIC=1.125 .

変数	回帰係数( $\beta$ )	$\beta$ の標準誤差	t値	p値
定数項	1.0757	0.1477	7.2848	0.0000
day	-0.0135	0.0049	-2.7590	0.0099
s.diesel	0.2849	0.0931	3.0604	0.0047
ns.rain	-0.0275	0.0101	-2.7374	0.0105
s.ult	-0.0171	0.0052	-3.2889	0.0026

### 5. 考 察

本研究では、道路上の堆積物(回収土量)や堆積物に含まれる PAH を取り上げ、降水量、紫外線量、などの環境因子との関連について調べた。対象とする道路は領域データ(ノンポイントデータ)であり、領域内での降水量や紫外線量に対する正確なデータの入手は困難である。そこで、降水量は Tiesen 分割法を用いて、紫外線量は全国 4 カ所の 1ヶ月の紫外線全量を用いて緯度及び季節を補正し、1 日ごとの推定値を算出した。回収土量及び PAH については、各ステーションで区間面積が異なり、さらに堆積する期間も一定ではないので、データの標準化を行った。線形モデルでの分析の結果、回収土量については、特に 2 号線など都市部の道路において、1 ミリ以上の降水回数や日数が経つごとに道路以外に移動していることが示された。PAH については、特に降水量の増加に伴い、道路上からその量が減少していることがわかった。多くは、河川などへ流出していることが予想される。紫外線による PAH の分解は、定量的には把握することができなかった。しかし、月を 1 つのグループとしたグループ化ジャックナイフ法により回帰モデルの変数選択を行った時、9 月のデータを取り除いたモデル 6(データ数 34)

$$\text{lgs.PAH} = 1.0757 - 0.0135 \text{ day} + 0.2849 \text{ s.diesel} - 0.0275 \text{ ns.rain} - 0.0171 \text{ s.ult}$$

(決定係数  $R^2=0.629$ , 自由度調整済み決定係数  $R^2=0.577$ , AIC=1.125)が選択された。表 19 に回帰係数推定値と対応する p 値を示している。なお、分散比(自由度対(4,29)F 統計量)は、

12.31 であり,  $p$  値は 0.00001 である. モデル 6 では, 標準化した紫外線量の  $p$  値が特に小さくなっている. PAH の量は対数変換を元に戻すと, 30 日当たりの紫外線量  $1\text{KJm}^2$  に対して 0.039 減少する(単位:  $10^{-2}\mu\text{g/g}$ ). この原因は, 9 月の PAH の値は, 他の月に比べてステーション間でかなりばらつきがあるが, 月を固定した時の紫外線の値はステーション間でほぼ同じ値をとるので, 9 月のデータを取り除いた際, PAH に対してモデルを当てはめるのに紫外線量が有効に働いたことによると思われる. 今回の結果は, 線形モデルでの結果であり, より複雑なモデルに対して, データ数を増やした上でのさらなる検討が望まれる.

#### 謝 辞

本論文の審査員の先生方には, 丁寧な査読のうえに, 不備な点のご指摘と有益なご意見をいただきました. また, 統計数理研究所 馬場康維教授には, 適切なご助言をいただきました. ここに記して謝意を表したいと思います.

#### 参 考 文 献

- 脇岡靖明, 古米弘明(2001). 都市ノンポイント汚染源負荷流出に基づく不浸透面堆積負荷流出モデルの検討, 土木学会論文集, 685(20), 123-134.
- 建設省道路交通局 編(1998). 『平成9年度一般交通量調査, 基本集計表』(社)交通工学研究会, 東京.
- 岡山地方気象台防災業務課 編(1999). 『岡山県気象年報』.
- 尾崎則篤, 鷹田孝広, 福島武彦, 山口登志子(2000). 市街地への多環芳香族炭化水素類の地表面堆積とその降雨時流出, 環境工学研究論文集, 37, 403-409.
- 酒井彰, 田中和博, 住山真(1997). ノンポイントソース流出水の水質特性及び汚濁負荷流出モデル解析, 下水道協会誌論文集, 413(34), 12-25.
- 和田安彦(1981). 非点源負荷における路面堆積負荷の定量と流出シミュレーションに関する研究, 水質汚濁研究, 4(3), 145-155.
- 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(2), 61-71.

## Relationships between Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Environmental Factors

Koji Kurihara and Yoshiro Ono

Faculty of Environmental Science and Technology, Okayama University

This paper discusses the relationships between environmental factors and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) contained in the exhaust gases on roads. We collected road sediments at seven stations contaminated by car exhaust gases in Okayama prefecture. As the amounts of rain and ultraviolet rays were not observed in the specific area, we estimated them by Tiesen and latitude adjusted methods. In addition, the areas and observed periods of the seven stations differed, so that data were normalized for joint analysis. We considered a multivariate linear regression model to predict PAH by means of exploratory variables for environmental factors like road run-off due to rain and irradiation of ultraviolet rays. Furthermore, since few data were collected at each station, we detected a cluster of road stations with similar linear structures and the influence the environmental factors was quantitatively evaluated in the cluster.