

報告

飛行船による環境調査 —炭化水素成分—

早 福 正 孝 宇 田 川 満 伊 藤 政 志

1 はじめに

地上の大気汚染物質の汚染状況を把握するには、例えば道路端のような発生源近傍、あるいは発生源からの直接的影響をさけた場所等に測定機器類を配置して大気を採取測定する必要がある。一方、地上や高煙突から排出された汚染物質の上空における汚染分布の観測には、従来飛行機^{1),2)}、ヘリコプター³⁾、高層建築物あるいはカイトーン等が利用されてきた。これらの方法はそれぞれ一長一短があるが、近年広範囲な上空を長時間にわたって観測できる飛行船が注目されるようになった。そこで、筆者らは東京上空の大気汚染状況を把握するために警視庁の飛行船に測定機器類等を搭載して窒素酸化物、オゾンそして炭化水素成分等を測定した。

本報告では、1989年に行った調査のうち光化学スモッグに関連する炭化水素成分についてまとめたものである。なお、本調査は1990年以降も継続する予定である。

2 調査方法

サンプルガスはダブルテフロンコック付き真空瓶を飛行船に搭載して採取した。採取地域は主として東京上空で、高度約300mである。採取は1989年6月21日(11時~15時)、7月19日(11時~15時)、11月16日(11時~12時)に行った。なお、自動車排ガスの成分パターンと上空の成分パターンと比較するためにトンネル内の炭化水素成分調査も実施した。調査したトンネルは笹子トンネル(山梨県)と首都高速道路千代田トンネルである。

調査に使用した飛行船「はるかぜ号」の概要は次のとおりである。この飛行船はヘリウムガスを充填した6,666 m³の容積をもち、パイロットを含め12名搭乗可能であるが、調査機器類が搭載されると調査人数は2、3名である。最大巡航速度は約90km/hであるが、調査時の速度は50~60km/hである。飛行高度は海拔1,000m近くまで

可能であるが、浮力等の関係で通常は約300mである。

飛行コース及び採取地点は図1のとおりである。飛行船の発着地点は立川市である。

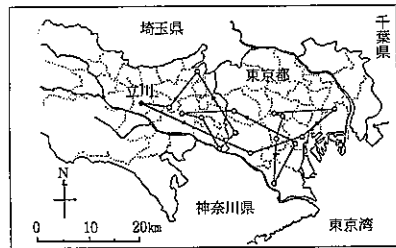


図 1. A 飛行コースと採取地点
(1989年6月21日)

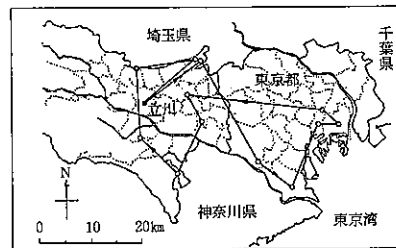


図 1. B 飛行コースと採取地点
(1989年7月19日)

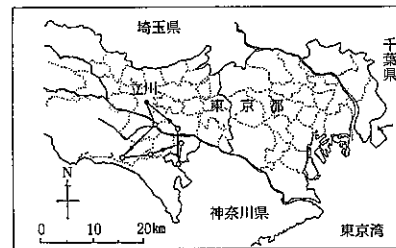


図 1. C 飛行コースと採取地点
(1989年11月16日)

3 調査状況

6月21日と7月19日の天候は共に晴れてスモッグ状態であった。しかし光化学スモッグ注意報等は発令されなかった。地上の大気汚染常時測定室の気象データによると、6月21日は朝のうち北風が吹いていたが日中は東南東から南の風であった。日中は風速2m/s前後の弱風であった。東京タワーの250mにおける風は2~5m/sの東南東であった。7月19日は6月21日の気象と類似しており、朝は北東風で日中は東から南東の風になった。日中の風速はやはり2m/s前後であった。東京タワーの250mにおける風は約4m/sの東南東であった。11月16日の日中は曇天でときどき小雨が降るような視界が悪い日であった。そのため飛行は短時間で終わった。日中は北西から北東の風で2~4m/sであった。東京タワーの250mにおける風は約6m/sの北風であった。

4 分析方法

試料空気は液体酸素で濃縮した後、加熱脱着させFID付きガスクロマトグラフ(Shimadzu GC-9A)で分析した。分析成分は表1に示す18成分である。分析条件

は次のとおりである。

低沸点炭化水素成分

カラム: 充填剤, 活性アルミナ (60/80メッシュ)

内径3mm×2mガラスカラム

温度: 50°C, 3分保持後, 7°C/minで100°Cまで昇温

ガス流速: N₂=40, H₂=35, 空気=400ml/min

芳香族炭化水素成分

カラム: 充填材, シンクロムF51(6%) + ペントン34

(4%) 付きシマライトDMCS (80/100メッシュ)

内径3mm×2mガラスカラム

温度: 50°C, 5分保持後, 5°C/minで100°Cまで昇温

ガス流速: N₂=45, H₂=35, 空気=400ml/min

5 結果と考察

表1には東京上空, 表2にはトンネル内の平均値, 最高値, 最低値, 変動計数, 組成比を示す。特異的に高濃度を示しているのは11月16日のn-ブタン(n-C₄),

表1 飛行船による上空の炭化水素成分調査結果 (1989年)

濃度単位: ppb

	6/21 n=15					7/19 n=12					11/16 n=6				
	平均	最高	最低	変動係数	組成比	平均	最高	最低	変動係数	組成比	平均	最高	最低	変動係数	組成比
C ₂ H ₆	2.18	2.76	1.57	16.67	3.63	1.56	2.13	1.09	19.76	2.90	4.85	8.90	2.20	48.28	1.42
C ₂ H ₄	3.24	4.78	1.96	27.73	5.38	2.62	3.76	1.68	23.06	4.85	7.20	11.96	1.91	42.69	2.11
C ₃ H ₈	2.53	3.68	1.26	27.42	4.20	2.17	3.18	1.14	28.75	4.03	5.07	7.94	1.85	41.06	1.48
C ₃ H ₆	2.15	3.09	0.92	26.45	3.58	1.83	2.82	0.67	32.20	3.40	2.52	4.76	0.98	54.62	0.74
C ₃ H ₄	0.90	2.95	0.38	67.40	1.49	0.66	1.59	0.00	53.89	1.22	3.34	5.06	1.06	38.76	0.98
i-C ₄	1.93	5.56	0.87	57.31	3.21	1.73	2.95	1.01	28.93	3.21	7.04	12.07	3.71	42.00	2.06
n-C ₄	4.40	8.14	1.92	42.02	7.31	3.35	5.62	0.66	38.79	6.20	51.59	94.16	26.16	45.84	15.11
T-BU	1.43	3.46	0.00	62.39	2.37	0.36	1.07	0.00	95.33	0.67	13.04	23.35	6.50	46.93	3.82
C-BU	0.81	3.21	0.00	100.69	1.35	0.43	0.96	0.00	64.25	0.79	9.58	17.64	4.66	48.00	2.80
i-C ₅	5.85	11.59	2.09	43.16	9.73	3.64	6.44	1.84	35.21	6.74	84.31	157.06	42.42	46.16	24.69
n-C ₅	1.38	2.37	0.70	33.17	2.30	1.02	1.63	0.61	30.92	1.88	3.59	5.76	1.72	38.16	1.05
n-C ₆	2.79	8.72	0.00	84.34	4.64	欠	欠	欠	欠	欠	4.14	8.84	2.00	58.81	1.21
BENZ	5.47	9.30	1.47	46.75	9.09	2.36	7.06	1.08	64.58	4.36	9.60	19.55	5.11	57.49	2.81
TOL	18.00	26.63	10.28	24.54	29.91	23.04	36.30	16.35	29.50	42.65	113.40	208.37	68.45	47.30	33.20
ET-BZ	2.60	4.76	1.06	40.72	4.33	3.24	7.00	2.23	41.24	6.01	6.59	11.54	4.71	36.15	1.93
P-XY	1.20	2.60	0.64	48.80	2.00	1.59	3.04	0.79	43.83	2.94	4.11	6.52	2.98	30.60	1.20
M-XY	2.16	4.11	1.23	42.18	3.58	3.17	7.12	0.72	50.24	5.87	7.93	13.95	6.18	34.74	2.32
O-XY	1.15	1.84	0.69	33.14	1.90	1.24	2.33	0.74	36.30	2.29	3.60	6.22	2.54	34.84	1.05

(注) ppb=ppb (v/v) n=試料数

変動係数、組成比=%表示

C₂H₆:ETHANE, C₂H₄:ETHYLENE, C₃H₈:ACETYLENE, C₃H₆:PROPANE, C₃H₄:PROPYLENE, i-C₄:iso-BUTANE
 n-C₄:n-BUTANE, T-BU:trans-2-BUTENE, C-BU:cis-2-BUTENE, i-C₅:iso-PENTANE, n-C₅:n-PENTANE,
 n-C₆:n-HEXANE, BENZ: BENZENE, TOL:TOLUENE, ET-BZ:ETHYL BENZENE, P-,M-,O-X:p-,m-,o-XYLENE

表2 トンネル内の炭化水素成分調査結果(1989年)
(笹子, 首都高速道トンネル) n=6

濃度単位 ppb

	平均	最高	最低	変動係	組成比
C ₂ H ₆	14.70	24.00	5.40	40.27	3.47
C ₂ H ₄	136.85	188.60	72.37	27.50	32.29
C ₂ H ₂	60.50	90.57	20.57	46.97	14.27
C ₃ H ₈	2.20	4.38	0.86	50.98	0.52
C ₃ H ₆	32.98	41.24	17.63	24.88	7.78
i-C ₄	6.41	16.57	1.07	75.95	1.51
n-C ₄	14.34	31.82	2.54	61.61	3.38
T-BU	7.58	12.66	3.74	35.74	1.79
C-BU	2.27	4.65	0.67	53.84	0.54
i-C ₅	25.60	34.29	4.66	38.65	6.04
n-C ₅	15.57	20.19	3.17	36.79	3.67
n-C ₆	9.93	19.98	3.73	49.48	2.34
BENZ	22.95	32.36	8.74	32.41	5.41
TOL	34.53	82.70	16.18	64.31	8.15
ET-BZ	8.77	17.33	3.03	54.63	2.07
P-XY	6.80	17.37	2.80	72.30	1.60
M-XY	15.47	38.63	5.77	70.12	3.65
O-XY	6.38	17.25	2.64	77.59	1.51

i-ペンタン (i-C₅), トルエン (TOL)である。n-ブタンと i-ペンタンは自動車排ガス, ガソリン蒸気, 石油精製から, トルエンは自動車排ガス, 溶剤から多く排出されている⁵⁾。この高濃度現象になる原因は現時点では不明であるが, 風向(北成分の風)からみると埼玉から東京にかけて大きな発生源があるものと思われる。定常的に組成比が高いのはトルエンである。その大気中の濃度変動は他の芳香族炭化水素成分に比べるとやや低く, エチレン (C₂H₄), アセチレン (C₂H₂), プロパン (C₃H₈)と同程度である。上空の各成分の濃度変動は都心の濃度変動(有楽町; 地上)⁶⁾に比べ小さい。これは上空の炭化水素成分が採取地点間に大きな濃度差がなく, 言い換えれば, 上空では炭化水素成分はかなりよく混合されているといえる。

炭化水素は光化学スモッグ生成の重要な反応物質である。そこで光化学反応性の低いアセチレンと他の成分との比を取ることにより, 光化学反応の進んでいる上空の反応の進みぐあいと炭化水素成分パターンをみたのが図2と3である。図4では発生源が自動車のみで, 光化学反応が進んでいないトンネル内の成分パターンをみている。トンネルではアセチレン(比率=1)を越えるのはエチレンのみ(比率=2.3)である。これが日射の強い6/21, 7/19の上空では, 光化学反応性の強い成分

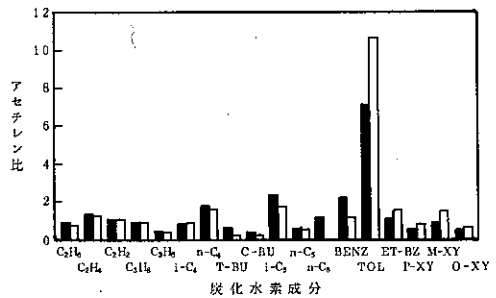


図2 上空の炭化水素
(1989年6月21日(黒), 7月19日(白))

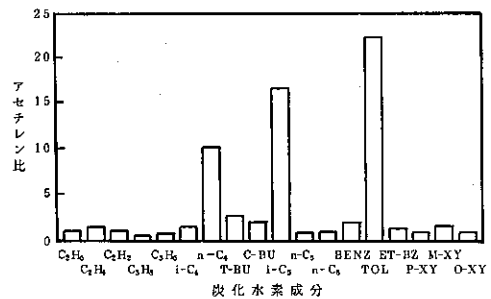


図3 上空の炭化水素
(1989年11月16日)

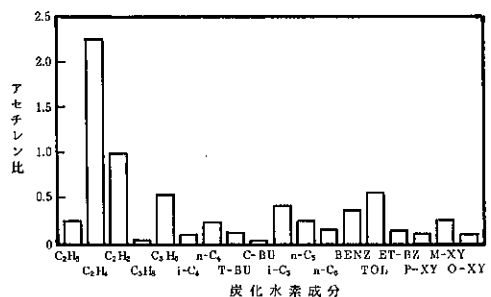


図4 トンネル内の炭化水素
(首都高速, 笹子トンネル(1989年))

(エチレン, プロピレン)は反応が進み濃度が減少した結果, 対アセチレン比がトンネル内の比率より小さくなっている。11/16は日射が少なく反応が進まず, エチレンとプロピレンの対アセチレン比は小さくなっていない。一方その他の成分のうち比率が1を越える成分がかなり

ある。このように、日射があると上空では光化学反応が進み、反応性の高い成分は大きく減少する。反応性の低い成分は減少率が少ない。地上の発生源が自動車のみであるなら、図2、3の反応性の低い成分パターンは図4の成分パターンに類似するはずであるが、上空のアセチレン比はトンネルの比率より高い成分が多い。これは、東京上空の炭化水素成分が、自動車以外の発生源からの寄与をかなり受けていることを表しているものと考えられる。

6 ま と め

各種発生源から排出された炭化水素は上空では採取地点間の濃度差が少ない成分が多い。このことは、地上から排出される汚染物質が高度約300mの東京上空ではかなりよく混合されているものと推察される。また上空では自動車以外の発生源からの汚染寄与も大きいことが推察される。これらの詳細な点はさらにデータを蓄積して検討を加えていきたい。

本調査にあたり警視庁航空隊の高橋久夫、岸田一郎、本間光昭氏及び、その他多くの方々にご協力をいただいたことに深謝いたします。同じく調査にあたり国

立環境研究所の若松伸司氏に飛行船に関する貴重な助言をいただいた事を感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 早福正孝：炭化水素成分の海上から内陸への流れ込み、「環境科学」研究報告B280-R11-2（内陸域における大気汚染の動態），p.124，昭和61年3月。
- 2) 須山芳明ら：内陸域上空における炭化水素濃度について，同上，p.128，昭和61年3月。
- 3) (財)機械電子検査協会：昭和55年度環境庁委託業務結果報告書（大気中炭化水素分析調査），昭和56年3月。
- 4) 若松伸司ら：飛行船を利用した大気汚染物質分布の観測，大気汚染学会誌，25，1，p.97(1990)。
- 5) 鶴野伊津志ら：環境大気中における炭化水素組成と発生源推定モデル，国立公害研究所報告R-72-85，p.89 (1985)。
- 6) 早福正孝ら：東京湾上における大気汚染調査—第二報—（炭化水素成分）：東京都公害研究所年報1983，p.54。