報 文

伐採樹木の焼却に伴う煙成分および

臭気の発生原単位に関する調査研究(I)

— 粉塵, タール, THC, CO, CO₂ 濃度および臭気濃度の測定 —

Survey on the emission factors of air pollutants and odor contained in the smoke during the field burning of lumbered woods (I)

—Measurment of concentrations of suspended particles, tars, total hydro carbons, oxides, carbon dioxides and odor—

西 田 耕之助 *・大 迫 政 治 *・宍 田 健 一 *
喜 多 義 邦 **・石 川 浩 次 ***

ABSTRACT

The purpose of this survey is to estimate the emission factors of air pollutants and odor, during the field burning of lumbered woods, in order to assess the impacts of field burning in the land reclamation to surrounding circumstances. As subjective pollutants were selected suspended particles, tars, total hydro carbons (THC), carbon dioxides (CO₂), carbon oxides (CO) and odor. So model experiments were made in similar conditions to the actual field burning in the land reclamation in the shrubby zone, and then the concentrations of these pollutants and generating quantity of the smoke were measured and meteorological factors were observed.

In result of this field burning experiment, the concentration of each pollutants contained in the smoke and the generating quantity of smoke from burning woods were made clear in each run, and the effective height of source, initial width of the smoke plume and y axial and z axial widths of the smoke plume, applied to the plume model, were evaluated by the analysis of VTR pictures.

摘 要

本調査では、山林や廃河川敷などの開発に先立って行われる伐採樹木の焼却の際に発生する大気汚染物質について、その発生原単位に関する基礎資料を得るために、実際の焼却作業に類似した条件でモデル実験を行った。推定の対象とした物質は、粉塵、タール、全炭化水素 (THC : Total Hydro Carbon)、二酸化炭素 (CO₂)、一酸化炭素 (CO) および臭気で、まず本報では、それぞれの汚染物質濃度の計測と、焼却煙量および気象因子等の観測を行った。

本焼却実験の結果、焼却煙中の各汚染物質の濃度および焼却煙の発生量が各RUNごとに明らかとなり、また、拡散モデルに適用される有効煙突高、初期拡散幅および拡散パラメータがVTR画像解析により把握された。

* 京都大学工学部附属環境微量汚染制御実験施設
Konosuke NISHIDA, Masahiro OSAKO, Kenichi SHISHIDA
** 滋賀医科大学保健管理学教室 Yoshikuni KITA
*** 中央開発(株) Koji ISHIKAWA

1989年8月21日受理

1. は じ め に

山林や廃河川敷などにおいて、ゴルフ場、工場団地の造成などの新たな開発行為が実施される際には、それらの対象地内での土砂や砂礫の採掘、搬出入とともに、敷地内に繁茂している樹木や竹類などを伐採・抜根し、その焼却処分が必要になる。しかし、これらの作業に伴って発生する大気汚染物質の周辺環境への影響予測において不可欠な発生原単位に関する調査、研究の例はきわめて少ない。¹⁾ そこで著者らは、既報²⁾において、土地造成などの土砂採掘作業における粉塵の測定から発生粉塵の原単位について検討した。すなわち、ブルドーザーやパワーショベルによる土砂の採掘とダンプカーへの積み込み、ならびに採掘土砂を搬送するダンプカーの走行によって巻き上げられる粉塵の飛散量を明らかにした。

本文では、伐採木、抜根等の焼却に伴って発生する煙中の大気汚染物質および焼却煙の臭気の周辺への影響把握に必要な発生原単位について検討した。煙発生の測定は実際にY川の廃川敷地において行われる骨材採取事業に係る環境アセスメント調査の一環として行ったもので、対象地に植生している樹木、竹類および木根等の焼却実験を行った。第1報では、粉塵、タール、全炭化水素（THC）、一酸化炭素（CO）、二酸化炭素（CO₂）および臭気の濃度測定、および焼却煙量、気象因子を観測した結果を報告する。

2. 調査および測定方法

2. 1 対象地域および調査期間

本調査は、発生源としてY川（滋賀県）廃川敷地に繁茂している樹木類の焼却処分時の煙発生を直接の対象としていることから、実際の現地で雑木、竹類等を伐採し、一定期間乾燥し、焼却材の混合割合を変えた焼却実験を実施した。したがって、本調査はモデル実験として極めて実際の焼却条件に類似したもので、得られた結果は、周辺集落への環境影響の予測に直接に適用しうる原単位としてきわめて妥当性の高いものとなる。

焼却実験は、下記の2日間に合計5回実施した。

RUN 1 ; 昭和63年12月13日

12時15分～12時45分（30分間）

RUN 2 ; 昭和63年12月13日

14時46分～15時03分（17分間）

RUN 3 ; 昭和63年12月13日

15時47分～16時16分（28分間）

RUN 4 ; 昭和63年12月14日

11時55分～12時08分（13分間）

RUN 5 ; 昭和63年12月14日

13時30分～13時55分（25分間）

なお、現地実験を行った2日間の天候は、1日目が晴天（気温8～16℃、湿度55～80%）、2日目が曇天（気温9～12℃、湿度65～80%）であった。

2. 2 焼 却 条 件

焼却実験に用いた伐採樹木の種別、乾燥条件、ならびに野積みされた伐採樹木の重量および容積を表1に示す。各RUNごとに、乾燥条件と樹木および竹の重量比を変え、樹木試料を4㎡の鉄板上（火床）に野積みし、これに着火した。伐採樹木の重量は約97～174kgで、容積は約1.5～3.2㎡であった。なお、実験の開始時に灯油約500mlをふりかけて着火を促した。

2. 3 粉塵量の測定

伐採樹木の燃焼に伴って、煙および灰分として発生する粉塵量の測定は、火床（発生源）の風下側の6地点にハイボリューム・エアースンプラー（HV）（紀本電子工業製、MODEL-120A）を設置し、HVのステージに装着した石英繊維濾紙を通して捕集した。吸引風量は0.8㎡/minである。なお、RUN 1～5

表 1 伐採樹木試料の性状

調 査 帯	樹 木 種 別	重 量	容 積
RUN1 13日	乾燥樹木及び乾	樹木 67kg	幅 1.60m
	燥竹（乾燥程度	竹 40kg	奥行 1.80m
	は伐採後約半月	（計107kg）	高さ 1.10m
	野積み風乾）樹		容積 3.17㎡
	木、竹重量比率		
	約3：2		
RUN2 13日	乾燥樹木のみ	樹木 122.5kg	幅 1.50m
	（25分）		奥行 1.50m
			高さ 0.90m
			容積 2.03㎡
RUN3 13日	生木及び生竹	樹木 70.4kg	幅 1.20m
	（伐採後3～4	竹 27kg	奥行 1.60m
	日間野積み）	（計97.4kg）	高さ 0.80m
	木、竹重量比率		容積 1.54㎡
	約5：2		
RUN4 14日	生木及び生竹	樹木 88.8kg	幅 1.65m
	木、竹重量比率	竹 35.3kg	奥行 1.60m
	（15分）	約5：2	高さ 0.85m
		（計124.1kg）	容積 2.24㎡
RUN5 14日	乾燥樹木及び生	樹木 97kg	幅 1.50m
	竹 木、竹重量	竹 77.4kg	奥行 1.70m
	（35分）	比率約3：2	高さ 1.00m
		（計174.4kg）	容積 2.25㎡

注）容積寸法は風下から風上を向いた状態を正面として、横幅、奥行、高さを測定している。

におけるHVの設置位置は風下側5～40mの範囲内で、捕集位置の高さはHV内に装着された濾紙の位置で地上1.73mとなる。

2. 4 タール量の測定

伐採樹木の燃焼に伴って煙として発生するタールの捕集は、火床上の煙流中の2点からステンレスパイプ（内径7mm）を通してダイヤフラムポンプで焼却煙を吸引（5～11ℓ/min）し、ガラス製U字管（内径16mm、長さ30cm）へ導き、U字管内に充填したガラスウール上に捕集した。充填ガラスウールの重量は1.65～1.97g、充填長さは約18cmで、捕集時はU字管を氷冷した。なお、捕集装置の概要は図-1に示す。

捕集タール量の測定は示差熱分析法で行った。すなわち、タールを吸着している既知量のガラスウールを示差熱分析計（島津製作所製）の試料として、温度範囲を室温～800℃、温度上昇率を10～20℃/minで分析し、タール量を求めた。

また、HV濾紙上に捕集されたタール分についても、示差熱分析法を用いて捕集タール量を測定し、その結果を拡散モデルに適用して発生原単位の推定に用いた。

2. 5 THC（全炭化水素）、COおよびCO₂の測定

伐採樹木の燃焼に伴って発生するCO、CO₂および煙中の炭化水素類をメタン換算全炭化水素値で測定した。図-2に示すように、火床上の煙流からステンレスパイプ（内径7mm）を通してダイヤフラムポンプ

図-1 タールの捕集装置の概要

図-2 THC、CO₂、COおよびO₂濃度測定装置の概要

で燃焼煙を吸引し、流路を三方に分けた。流路1をTHC濃度計（島津製作所、HCM-1A）、流路2をCO、CO₂濃度計（島津製作所、CGT101A）につないで経時変化を測定し、流路3はO₂濃度計（後述）につないだ。

RUN3においては、燃焼樹木の直上約15cmで、燃焼煙の水平断面での濃度分布をみるために、吸引口を移動させながら測定した。すなわち、THC濃度分布の測定結果は、後述のVTR撮影による焼却煙の視覚的な境界線と対応させ、視覚的な煙流幅とTHC濃度分布の対応から拡散モデルに適用する拡散パラメータを推定することにした。

なお、THC濃度は、ppm（CH₄換算）で表示される。

2. 6 臭気濃度の測定

RUN2、3および5においては、燃焼樹木の直上約15cmから発生煙をステンレスパイプを通して吸引（2ℓ/min）し、プラスチックバッグ（ポリエステル製）に10ℓから20ℓ採取した。採取煙は、実験室に持ち帰って三点比較式臭袋法（排出口測定）³⁾により臭気濃度を測定した。官能試験での被験者は、嗅覚の異常のない20～24歳の男女6名である。

2. 7 燃焼重量の測定

焼却前の伐採樹木の重量および焼却実施の終了時に測定した残渣量の重量を測定し、燃焼分の重量を求めた。

2. 8 燃焼ガス量（焼却煙量）の測定

伐採樹木の燃焼に伴って発生する燃焼ガス量は、鉛直上方へ上昇するGas fluxの上昇速度およびflux幅から算出される。そこで燃焼ガスの上昇速度は煙の上昇速度に対応するとし、またflux幅は煙流幅に対応するとして、それらをVTR撮影による画像解析によって求めた。用いた装置は、VTR：ビクターHR-S7700、ディスプレイ：サンヨー14B15である。

また、別に理論燃焼ガス量⁴⁾および理論空気量⁴⁾を発熱量の分析値および燃焼重量から求め、O₂濃度から空気比を求めることによって燃焼ガスを推定した。総発熱量の測定法については、2.11に述べる。

2. 9 焼却煙の有効煙突高、初期拡散幅および拡散パラメータの測定

本調査では、対象地域の地形的特性および風向特性のために、HVの設置地点は発生源の40m以内に限られたことから、煙の拡散性の把握と、粉塵およびタール量の発生原単位の推定に、従来から大気汚染物質の

拡散予測に用いられているブルームモデルおよびその拡散パラメータ等をそのまま適用することは困難である。

そこで本調査では、煙の有効煙突高、初期拡散幅および拡散パラメータ（0～40m付近までの拡散幅から推定）をVTR撮影による画像解析によって推定した。

なお、煙は発生源から風下方向へ円錐状に拡散すると仮定し、水平方向と鉛直方向の拡散パラメータは等しいとした。また、有効煙突高、初期拡散幅および拡散パラメータは風速によって変化するため、風速の異なる場面について行った画像解析から、風速との関係について検討した。

2. 10 気象観測

地上の風向・風速、温・湿度および日射量を測定し、本対象地域の拡散場の気象状況として代表させた。風向・風速は、プロベラ型自記風向風速計（光進電機工業製）で、地上高さ1.5mにおいて連続測定を行った。また、温・湿度は自記式温湿度計で連続測定し、日射量はネオ日射計（英弘精機産業製）による10分間積算値から算出した。

2. 11 O₂濃度

燃焼ガス中のCO、CO₂濃度とO₂濃度とについて時系列的な変化の相互関係、および燃焼ガスの発生量を求めるための空気比を推定するために、CO、CO₂濃度の測定と同時にO₂濃度をO₂濃度計（島津製作所製POT101）で測定した。なお、測定ガスは、図-2の流路3から吸引した。

2. 12 伐採樹木の発熱量、含水量および灰分

伐採樹木の発熱量を燃研式熱量計を用いて測定した。測定は、JISK 8814⁹⁾に準拠した。

また、伐採樹木の含水量は、樹木試料を105℃で恒量になるまで乾燥し、重量法で求め、灰分量は、800℃で2時間焼却後、重量法によって求めた。

3. 調査および分析結果

3. 1 気象観測結果

1) 風向・風速

12月13日および14日の調査時間帯における地上の風向・風速の経時変化を図-3に示す。実験時の風速は、13日が1～6 m/sec、14日が1～4.5 m/secの範囲で変動しており、特に13日の13～14時および14日の12～13時にやや大きな風速を示した。一方、風向については、13日が概ね北東～北北東、14日が西南西で一定している。

図-3から各RUNごとの平均的な風向・風速を求めると次の通りである。なお、実験時に、風向が比較的一定していたことから拡散モデルの適用に際して風向頻度による補正は必要ないと考えられる。

	平均風速 (m/s)	平均風向
RUN 1	2.2	北 東
RUN 2	— *	— *
RUN 3	2.7	北北東
RUN 4	4.0	西南西
RUN 5	4.3	西南西

* 機器調整不良のためデータが欠測した。

2) 気温および湿度

両日の実験期間における気温および湿度の経時変化を図-4に示す。気温と湿度はほぼ逆の変動傾向を示しており、13日は晴天のために日変動が大きく、14日は薄日がさす天気で時間変動は小さい。

3) 日射量

両日の日射量の経時変化を図-5に示す。晴天の場合は12時頃に日射量が最も大きくなるが、13日は13時

図-3 風向・風速の経時変化

(1988年12月13日)

(1988年12月14日)

図-4 気温・湿度の経時変化

(1988年12月13日)

(1988年12月14日)

図-5 日射量の経時変化

以前のデータが欠測しており、また14時以降も機器故障による欠測となったため、RUN 1～3における日射量の評価は困難であった。14日は30～50 cal/cm²・hrの範囲で変動した。

以上の1)～3)の結果において、1)は拡散モデルの必要データとなるが、本実験の解析においては、実験の目的から拡散パラメータの推定にPasquill-

Giffordの推定方法を適用しなかったことから、2)、3)のデータが必要でなく、これらについては結果のみを表示する。

3. 2 燃焼状況

伐採樹木の燃焼状況は、概括的にみると次のようであった。なお、樹木の種類および乾燥状態の違いで、燃焼時間や残渣に若干の相違が認められた。

- ①伐採樹木は幅約1.5m、高さ約1mに積まれている。
- ②乾燥樹木は着火直後に灰白色の煙を激しく上げ、その後炎を激しく上げて燃焼する。このとき若干の黒煙を発生する。生木、生竹を含むものは、白煙を上げてくすぶる状態がやや続く。
- ③徐々に鎮火の方向へ進み、煙はあまり上がらない。
- ④燃焼物の大部分は燃えつきているが、一部に太い幹材が長い時間燃えている。

3. 3 粉塵捕集量

表2に、HVによって捕集された粉塵量の測定結果を示す。捕集粉塵量は、RUN 1で0.011～0.019 g、RUN 2で0.004 g程度、RUN 3で0.002～0.008 g、RUN 4で0.007～0.06 g、RUN 5で0.007～0.08 gである。全体的に捕集粉塵量が多かったのはRUN 5であった。また、発生源から遠距離になるほど粉塵捕集量が減少しており、粉塵の拡散および沈着の傾向が明らかに認められた。なお、表中の欠測は、濾紙の破損による欠落が原因である。

3. 4 捕集タール量

- 1) HVによる捕集タール量

表2 HV粉塵捕集量及びタール量（示差熱分析）
測定結果

Sampling Point	粉塵量 (mg)	吸引時間 (min)	粉塵濃度 (mg/m ³)	タール重量 (mg/2.8cm ²)	全タール量 (推定値mg)	タール濃度 (mg/m ³)
No.1	13.4	30	0.558			
R No.2	17.2	30	0.717			
U No.3	18.5	30	0.771			
N No.4	12.3	30	0.513			
1 No.5	—	—	—			
No.6	10.5	30	0.438			
No.1	—	—	—			
R No.2	4.6	17	0.338			
U No.3	4.7	17	0.346			
N No.4	4.3	17	0.316			
2 No.5	—	—	—			
No.6	—	—	—			
No.1	7.6	28	0.339			
R No.2	4.2	28	0.188			
U No.3	4.5	28	0.161			
N No.4	6.8	28	0.243			
3 No.5	2.3	28	0.103			
No.6	—	—	—			
No.1	61.5	18	4.27	0.11	62.6	4.35
R No.2	34.0	20	2.13	0.13	74.0	4.63
U No.3	23.9	19	1.57	0.07	39.9	2.63
N No.4	—	19	—	0.05	28.5	1.88
4 No.5	—	19	—	0.05	28.5	1.88
No.6	6.8	18	0.472	0.04	22.8	1.58
No.1	794.2	33	28.4	0.25	142.0	5.38
R No.2	323.7	33	12.3	0.25	142.0	5.38
U No.3	243.5	34	8.95	0.22	125.0	4.59
N No.4	138.2	33	5.23	0.19	108.0	4.09
5 No.5	78.2	32	3.05	0.17	96.8	3.78
No.6	6.8	35	0.243	0.12	68.0	2.43

* 吸引時間×吸引速度(0.8m³/min)=吸引量(m³)で捕集粉塵量を除した値** 示差熱分析によって得られた値を濾紙の全面積1596cm²当りに換算した値

*** 全タール量を吸引量で除した値

表2に、HVの濾紙上に捕集されたタール量の示差熱分析の結果を示す。RUN1～3については検出量が小さく、測定地点間にも顕著な差異が認められなかった。これは、地上風が非常に弱いために、燃焼煙が上方に昇ったこと、すなわち煙突高が高くなり、煙の最大着地点が調査範囲外の遠距離になったためと考えられる。一方、RUN4および5では、測定点の間に明らかな相違が認められ、発生源からの距離による明ら

かな減衰傾向を把握することができた。

2) U字管による捕集タール量

氷冷したU字管中に捕集されたタール重量を示差熱分析法で測定した結果は表3の通りである。すなわち、タール量は40～540mg/N-m³で、測定口の位置によってタール量にかなりの異なりがみられるが、RUN5の場合を除き、その他のRUNにおいてはほぼ同程度の値を示した。

3.5 THC濃度

1) 燃焼ガスのTHC濃度

伐採樹木の燃焼によって発生する燃焼ガスについてTHC濃度の経時変化を計測した一例を図-6および図-7に示す。THC濃度は、地上の風向・風速の影響により変動を示すが、ピーク濃度は着火の直後に約180ppm(RUN1)および530ppm(RUN2)と現れ、ついで時間の経過とともに低下する傾向を示した。

表3 U字管タール捕集量

Sample	分析試料中のタール量(mg)	全タール量(mg)	吸引速度(ℓ/min)	吸引時間(min)	タール濃度(mg/m ³)	備考(RUN)
1	39.7	24.4	5.0	20	244	RUN1
2	49.8	9.7	11.0	20	44	RUN1
3	47.2	11.9	5.0	10	238	RUN1
4	50.0	10.7	11.0	10	97	RUN1
5	57.6	7.4	11.0	17	40	RUN2
6	52.6	8.7	5.0	17	102	RUN2
7	22.2	42.2	11.0	28	137	RUN3
8	30.3	7.9	5.0	28	56	RUN3
9	21.1	5.8	9.0	13	50	RUN4
10	32.3	10.3	5.0	13	158	RUN4
11	30.8	48.4	9.0	10	538	RUN5
12	36.2	13.4	5.0	10	268	RUN5
13	29.1	6.3	9.0	15	47	RUN5
14	44.2	11.2	5.0	15	149	RUN5

図-6 THC濃度の経時変化
(1988年12月13日 Run 2)

図-7 煙の水平断面におけるTHC濃度分布

2) 上昇煙の水平断面のTHC濃度分布

RUN 3 において火床から上昇する煙流（燃焼ガスフラックス）の水平断面についてTHC濃度分布を測定した結果の例は図-7に示す通りである。横軸の時間軸は、30秒～1分で煙の水平断面の中心を通る直径方向約1～1.5mの線に対応している。測定口の移動速度および燃焼状況によって分布の形状が若干異なるが、概ね、釣鐘状あるいは正規分布に近い形になっているものと認められる。

3. 6 CO₂濃度

燃焼ガス中のCO₂濃度の経時変化の測定例を図-8に示す。地上の風向・風速の変動によって煙中のCO₂濃度も大きく変動するが、概ね着火直後のCO₂濃度が高くなっている。各RUNの最大ピークは5～15%と大きく異なるが、これは燃焼状態の相違だけでなく、測定口の位置や外風の風向・風速の影響が大きく現われているものと考えられる。

3. 7 CO濃度

燃焼ガス中のCO濃度の経時変化の測定例を図-9に示す。RUN 1, RUN 2およびRUN 3では機器故障のために一部データの欠測が生じた。発生煙中のCO濃度のピーク値は最大で5%前後を示し、RUN 4を除いてCO₂濃度の変動とほぼ対応していることが認められる。

図-8 CO₂濃度の経時変化
(1988年12月13日 Run 1) 図-9 CO濃度の経時変化
(1988年12月14日 Run 4)

3. 8 O₂濃度

燃焼ガス中のO₂濃度の経時変化の測定例は図-10の通りで、燃焼層直上のCOおよびCO₂濃度が高くなったときにO₂濃度はもっとも低下し、その値が10%以下となる場合もみられた。

なお、RUN 1～3では機器故障のためにデータに一部欠測が生じた。

3. 9 臭気濃度

RUN 2, 3および5において採取した焼却煙の臭

図-10 O₂濃度の経時変化
(1988年12月14日 Run 4)

表4 煙の臭気濃度および検知管測定結果

採取時	臭気濃度	検知管測定(%)			
		O ₂	CO	CO ₂	NO _x
RUN2	17000	19.5	0.2	1.5	N.D.
RUN3	23000	18.0	0.8	3.2	N.D.
RUN5	55000	18.0	1.4	2.8	N.D.

* プラスチックバッグに約10ℓの煙を採取した。

気濃度の測定結果を表4に示す。表中には、ガス検知管（光明理化学製、100ml吸引法）によって補完的に測定したO₂、CO、CO₂およびNO_x濃度も同時に示した。燃焼ガスの臭気濃度は17,000～55,000で、RUN5が最も高い臭気濃度値を示した。

3. 10 VTR解析による煙の拡散状況の把握

伐採樹木の焼却に伴って発生する粉塵およびタール量の排出強度をHVの濾紙上に捕集された量から推定するために、Pasquillのブルームモデルを拡散モデルとして適用することにした。拡散パラメータ σ_y および σ_z は、Pasquill-Gifford線図から求められる値で、日射量と風速に基づいて安定度階級別に与えられるが、発生源の極く近傍での適用は困難である。したがって、本調査のようにHVの設置が発生点から40m以内と発生源ときわめて近い場所であることから、それらで捕捉した値を利用する場合には、別の配慮が必要となる。すなわち、本実験の対象とする拡散場に最適な拡散パラメータを決定する必要がある。

そこで本研究では、焼却煙のVTR画像解析によって、拡散モデルに必要なパラメータの推定を行った。拡散モデルに必要とされるパラメータには、初期拡散幅 σ_0 、有効煙突高He、風向に対する水平直角 γ 軸および鉛直 z 軸方向の拡散幅がある。しかし、これらの値は発生源の形態、地形および気象要因に大きく影響されることから、一義的な把握が困難である。そこで、実際にVTR法による拡散状況を概括的に捉えと、上述のパラメータは地表風速の違いによって特徴的に変化することが視覚的に認められたことから、各パラメータの評価を行うために、風速別の拡散状況を図-11に示すように捉えた。すなわち、風速0 m/sec(a)の場合は無視し、(b)～(d)の場合を考える。図中のHe、 σ_0 を有効煙突高および初期拡散幅と考えた。また、(c)の場合、仮定の点源Xからの拡散を考えると、HVへの捕集は無視されることになるが、実際はHVの吸引口は煙流中にあることから、計算上はHVの吸引位置を変えて計算しなければならないことになる。

1) 有効煙突高および初期拡散幅

図-11 風速による煙の拡散状況の概要

拡散モデルに用いるパラメータとして、有効煙突高および初期拡散幅をVTRの画像解析から求めた結果を表5に示す。両パラメータは風速によって変化するため、表中の結果は異なる範囲の風速について求めた値である。有効煙突高は風速が大きくなるとともに低くなっており、初期拡散幅は火床の状態によって変化することが認められる。

2) 風下距離による主軸高さおよび煙流拡散幅

火床からの距離による煙流の拡散幅と煙主軸の上昇高をVTR解析によって求めた結果を表6および表7に示す。なお、主軸高さについては、図-11のC)の場合の測定点に影響する可否かの判定に用いた。両パラメータは風速によって変化するために表中の結果は異なった風速について求めた値である。

表から発生煙の主軸の傾きは風速が大きくなるほど小さく、水平面（地表）に対して平行に近づく。煙流の拡散幅も風速が大きくなるほど狭くなるが、煙流の下面が地表に接するために煙の拡散は鉛直の上方向と水平方向に限られる。

3) 焼却煙の上昇速度と上昇煙流の幅

伐採樹木の焼却に伴って発生する燃焼ガス量を推定するために、VTR解析によって煙の上昇速度および初期の上昇煙流の幅を計測した。表8に異なる風速時

について計測した結果を示す。煙の上昇速度は、地表風による水平方向の移動速度と燃焼ガスの熱的な浮力による鉛直方向の移動速度の合成速度となる。また、初期の上昇煙流の幅は上昇方向の垂直断面の幅とした。これらの値は火床上の樹木の燃焼状態によってかなり

変化するが、概ね、煙の上昇速度が3.5～5.5m/sec、初期上昇煙流の幅は0.8～1.5(m)と認められた。なお、初期上昇煙流の幅は時間の経過とともに小さくなっていく傾向が認められた。

3. 11 燃焼重量

各RUNごとに、焼却残量および焼却灰量から火床上での樹木の燃焼重量を求めた結果は表9に示す通りである。RUN4については、試料の樹木が生木と生

表5 VTR解析による焼却煙の有効煙突高と初期拡散幅の測定結果

風速 (m/sec)	有効煙突高 (m)	初期拡散幅 (m)	備考 (RUN, Time)
1.7	5.0	0.8	RUN1 20"
1.3	5.8	0.9	" 2' 56"
1.7	5.3	0.7	" 12' 55"
3.2	3.3	1.6	RUN2 16"
1.5	6.6	1.1	" 33"
1.5	4.2	1.6	" 1' 30"
2.1	4.7	1.1	" 3' 06"
1.7	4.6	1.5	RUN3 1' 00"
1.7	4.9	1.8	" 1' 30"
3.8	3.5	2.0	RUN4 30"
3.8	2.3	1.7	" 1' 30"
3.8	3.0	1.5	" 2' 00"
5.7	1.5	1.0	" 2' 33"
3.8	2.5	1.0	" 4' 45"
3.8	2.1	1.2	" 6' 30"
5.7	1.5	0.8	RUN5 5"
4.7	1.3	1.0	" 35"
4.7	1.6	1.2	" 1' 30"
3.5	1.7	1.0	" 3' 07"
6.5	1.2	0.8	" 4' 05"
6.5	1.4	1.3	" 8' 00"
6.5	1.2	1.0	" 13' 00"
5.7	6.2	1.00	" 5"
4.7	5.1	1.00	" 35"
4.7	5.3	1.00	" 1' 30"
3.5	3.8	1.00	" 3' 07"
6.5	6.6	1.00	" 4' 05"
6.5	6.8	1.25	" 8' 00"
6.5	6.7	1.00	" 13' 00"

表6 風下距離と煙流幅の関係 (VTR解析による風速別の測定結果)

風速 (m/sec)		煙流幅(m)						備考		
距離1(m)	2(m)	3(m)	5(m)	7(m)	10(m)	20(m)	30(m)	RUN	Time	
2.3	1.0	1.6	2.5	3.7	4.5			RUN4	1' 34"	
4.2	1.0	1.6	2.4	3.4	3.7				1' 50"	
6.0	1.0	1.4	2.0	2.2	2.8				2' 13"	
4.2	0.8	1.2	1.8	3.0	3.8				4' 21"	
2.3	1.0	1.8	2.4	3.5	4.3				6' 31"	
4.2	0.6	1.0	1.4	1.4	1.8				7' 08"	
4.2	0.6	1.4	1.6	1.6	1.8	2.0			9' 00"	
3.5	1.2	2.0	3.8	4.6	4.9	5.3		RUN5	5"	
6.5	1.0	1.4	2.2	2.6	2.7	3.0	3.5		10"	
6.5	0.8	1.6	1.7	1.9	2.3	2.8	3.0		20"	
4.0	1.4	2.4	2.8	3.0	3.4				30"	
2.7	0.8	1.6	2.4	4.2	4.8				35"	
2.7	1.2	2.0	3.2	4.0	5.0				1' 30"	
4.0	1.2	2.2	3.2	3.6	3.8				2' 11"	
6.5	1.4	1.8	1.9	2.0	2.2				2' 26"	
4.0	1.2	2.2	2.2	2.4	2.8				4' 05"	

表7 風下距離と主軸高さの関係 (VTR解析による風速別の測定結果)

風速 (m/sec)	距離1(m)	2(m)	主軸 3(m)	高さ(m) 5(m)	7(m)	10(m)	20(m)	30(m)	備考 RUN Time
2.3	1.6	2.4	3.6	4.1		4.4			RUN4 1' 34"
4.2	1.6	2.0	2.4	3.4		3.0			1' 50"
6.0	0.8	1.2	1.4	1.5		1.3			2' 13"
4.2	1.0	1.6	1.6	1.8		1.7			4' 21"
2.3	1.2	2.0	3.0	3.6		4.2			6' 31"
4.2	1.0	1.2	1.2	1.4		1.9			7' 08"
4.2	0.8	1.0	0.8	1.0	1.2	1.3			9' 00"
3.5	1.2	1.6	2.8	3.6	3.4	3.3			RUN5 5"
6.5	0.7	0.7	0.7	0.7		1.0	1.4	1.3	10"
6.5	0.7	0.8	1.2	1.2		1.3	1.4	1.5	20"
4.0	1.2	1.6	1.8	2.0		2.3			30"
2.7	0.8	1.6	2.4	4.2		4.3			35"
2.7	1.4	1.8	3.0	4.6		4.7			1' 30"
4.0	1.0	1.2	1.8	2.6		2.7			2' 11"
6.5	0.8	1.2	1.2	1.4		1.5			2' 26"
4.0	1.0	1.2	1.2	1.2		1.6			4' 05"

表8 VTR解析による焼却煙の上昇速度と初期上昇煙流幅の測定結果

風速 (m/sec)	上昇速度 (m/sec)	初期上昇煙流幅 (m)	備考 (RUN, TIME)
1.7	2.5	1.38	RUN1 20"
0	3.8	1.25	" 1' 22"
0	3.3	0.89	" 1' 56"
0	4.3	0.87	" 2' 20"
1.3	2.2	0.71	" 2' 56"
1.7	3.0	0.83	" 12' 55"
0	5.0	0.66	" 13' 22"
3.2	4.5	1.76	RUN2 6"
1.5	4.9	1.72	" 33"
0	4.7	1.56	" 1' 00"
1.5	3.4	1.41	" 1' 30"
2.1	3.7	1.25	" 3' 06"
0	3.8	0.63	RUN3 3"
1.7	4.2	1.50	" 1' 00"
1.7	4.2	2.25	" 1' 30"
0	5.0	0.75	" 3' 00"
0	5.0	1.00	" 5' 00"
0	5.0	1.00	" 7' 30"
0	4.5	0.75	" 10' 00"
0	3.8	1.25	RUN4 5"
0	5.5	1.00	" 15"
3.8	5.4	1.75	" 30"
3.8	6.3	1.25	" 1' 30"
3.8	4.2	1.50	" 2' 00"
5.7	5.9	1.00	" 2' 33"
3.8	4.5	1.00	" 4' 45"
3.8	4.5	1.00	" 6' 30"

表9 燃焼重量の測定結果

RUN	燃焼前重量(kg)	焼却残量(kg)	焼却灰量(kg)	燃焼重量(kg)
1	107.0	31	3.9	79.9
2	122.5	52.2	5.4	96.9
3	97.4	19.8	5.2	82.8
4	124.1	102.6	1.1	22.6
5	174.4	27.1	8.6	155.9

竹の組合わせで、生木の燃焼速度が遅く、測定時間内における燃焼量は全体の18Wt%にすぎなかった。

3. 12 樹木試料の発熱量、含水量および灰分

焼却実験に用いた樹木試料の高位、および低位発熱量、含水量ならびに灰分の測定を行った結果を表10に示す。高位発熱量は4640~4770kcal/kg、低位発熱量は2510~3330kcal/kgでの未乾燥の試料は木、竹ともに小さい値を示した。含水量は3.0~47.1%で乾燥状態によってかなり異なる結果を示した。また灰分は、1.3~2.0Wt%であった。

4. 結 論

本調査では、山林や廃河川敷などの開発に先立って行われる伐採樹木の焼却の際に発生する大気汚染物質について、発生原単位に関する基礎資料とするために、実際の焼却作業に類似した条件でモデル実験を行った。推定の対象とした物質は、粉塵、タール、THC (Total Hydro Carbon)、CO₂、COおよび臭気、まず本報では、それぞれの汚染物質濃度の計測と、焼却煙量および気象因子等の観測を行った。

本焼却実験の結果、焼却煙中の各汚染物質の濃度、

表10 樹木試料の発熱量、含水量および灰分の測定結果

測定項目	木		竹	
	乾燥	未乾燥	乾燥	未乾燥
高位発熱量 (kcal/kg)	4660	4640	4770	4740
低位発熱量 (kcal/kg)	3150	2890	3330	2510
含水量 (%)	32.5	37.6	30.1	47.1
灰分 (%)	2.0	1.3	1.9	1.7

および焼却煙の発生量が各RUNごとに明らかとなり、また、拡散モデルに用いられる有効煙突高、初期拡散幅および拡散パラメータがVTR画像解析により把握された。

なお第2報においては、本報の結果をもとに、周辺環境への濃度予測に不可欠となる各汚染物質の発生原単位の推定方法、およびその結果について述べる。

謝 辞

本調査を実施するにあたり、多大なる御協力を頂いた京都大学工学部衛生工科学学生諸氏（当時2回生）に深く感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 大阪府企業局（財）関西空港調査会；土砂採取事業に係る環境アセスメント調査報告書（悪臭編）、1985
- 2) 西田耕之助、大迫政浩、石川浩次；土砂採掘作業における粉塵発生原単位に関する調査研究、環境技術、18、181~190、1989
- 3) 環境庁特殊公害課；昭和56年度、官能試験法調査報告書、1982
- 4) 通商産業省立地公害局監修、公害防止の技術と法規、大気編、63~82（社）産業公害防止協会、1985
- 5) J I S K 8814

海外環境情報

Utah大学の二段階嫌気性廃水処理装置が商業化

Two-stage water pollution plant nears commercialization H23070931

嫌気性発酵を用いた廃水処理装置は、有機性廃棄物をメタン燃料と中品位の窒素肥料に変換するものであるが、従来の単一発酵槽では、嫌気性発酵制御と嫌気性細菌の分離に幾つかの問題が存在する。

米Utah大学のS. Ghosh教授は、20年以上にわたる研究の結果、複数の環境条件下で運転し複数の発酵槽を用いる新しい二段階嫌気性廃水処理システムを開発した。このシステムは、従来の単一発酵槽にて全反応を行うシステムと比べて、運転コスト、操業上のト

ラブル、変換効率で優れている。

現在、イリノイ州Dupage郡において、この新しいシステムの試運転が行われており、1989年12月に本格操業が始まれば、このシステムは都市下水を処理する最初の二段階嫌気性廃水処理装置となる。

イリノイ州のこのプラントは、二段階嫌気槽技術を用いた最初の商業規模の装置であるが、Ghoshは、“すでに得られた初期データは室内実験でのデータより良い値を示し、この商業規模プラントがパイロットプラントよりも高い完成度を示している”と述べている。

A628A Res Dev 31 [4] 22, 24 ('89)