



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	メタノール自動車排気ガスが光化学オキシダント生成におよぼす影響 : One-Boxモデルによる検討
Author(s)	森川, 多津子; Morikawa, Tazuko; 伊藤, 献一 他
Citation	北海道大學工学部研究報告, 149, 71-81
Issue Date	1990-02-28
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/42220
Type	departmental bulletin paper
File Information	149_71-82.pdf



メタノール自動車排気ガスが光化学オキシダント生成におよぼす影響
— One-Box モデルによる検討 —

森 川 多津子 伊 藤 献 一
(平成元年9月30日受理)

**The Effect of Methanol Vehicles' Exhaust Gases
on the Photochemical Oxidants
— Using a One-Box Model —**

Tazuko MORIKAWA and Kenichi ITO
(Received September 30, 1989)

Abstract

The introduction of methanol fueled vehicles may increase methanol and the formaldehyde concentration in the atmosphere. Especially because formaldehyde is a highly reactive species, it can promote photochemical oxidants. Thus we evaluated the effect of methanol vehicle exhaust gases on photochemical oxidants by a One-Box model.

If all diesel buses running in the Tokyo metropolitan area were converted into methanol fueled vehicles, there would be little difference in ozone formation. But if all the diesel buses and diesel trucks were converted into methanol fueled vehicles, the effect of a reduction of NO_x would lead to a reduction of ozone formation.

1. ま え が き

わが国では幹線道路近傍などで二酸化窒素 (NO_2) の環境基準が達成されておらず、重大な大気汚染問題となっている¹⁾。そのため、窒素酸化物 (NO_x) の排出が従来の自動車よりも低いメタノール車の導入に強い関心が払われており、一部ではすでにフリートテストが行われている。メタノール車はメタノール (CH_3OH) を燃料として走行する自動車を意味し、一般に燃焼温度が低く thermal NO_x の発生量が低い²⁾。また、ディーゼル車にみられるパーティキュレートの排出もほとんどなく、そのような面から、メタノール車はクリーンな自動車としてとらえることができる。しかし、未燃分として排出される CH_3OH および、 CH_3OH の不完全酸化物質であるホルムアルデヒド (HCHO) は、新たな大気汚染物質となる可能性がある³⁾。とくに HCHO は、大気中での反応性が高く光化学オキシダントを増加させる懸念がある⁴⁾。このため、将来メタノール車が大規模に導入された場合、それにとまう HCHO の大気中濃度の増加が光化学オキシダントの生成にどのような影響をおよぼすか評価していく必要がある。光化学オキシダントは、 NO_x および炭化水素 (HC) などの一次汚染物の光酸化反応によって生成する二次生成物質 (光化学反応生成物質)

から発生し、目、喉への痛み、呼吸困難および頭痛などを引き起こし、植物に損傷を与える。これまでわが国では、メタノール車導入にともなう HCHO の大気中濃度の増加を考慮した総合的な、光化学オキシダント生成に対する評価はない。そこで本研究では、One-Box モデルを用い、首都圏のバスおよび貨物車などの大型ディーゼル車をメタノール車に転換した場合、光化学オキシダント生成にどのような影響をおよぼすかについて検討を行った。

2. モデルの概要

2.1 モデルの意味

首都圏(東京 23 区)にひとつの大きな Box を考え、その中ですべての物理および化学現象を説明する。Box は、図 1 のように水平方向に 5 km×5 km の大きさをもち、鉛直方向に 2 層に分割されているものとする。ここで下層 Box の高さは 100 m、上層 Box の高さは混合層の高度とした。ただしこの Box の水平方向の大きさは、発生する汚染物質の量を決定するために定めたにすぎず、物理的には汚染物質濃度、汚染物質発生量および気象条件が同一の無限に広い空間の中から、5 km×5 km の Box を取り出してシミュレーションを行うという意味を持つ。Box 中への物質の出入りは、汚染物質の発生、鉛直方向の拡散、混合層高度発達による上部面からのエントレインメントおよび地表面への沈着で行われ、移流は考慮しない。汚染物質はすべて下層 Box 内で発生し、下層 Box 中で直ちに拡散し一様な濃度となり化学反応による変化がおこる。

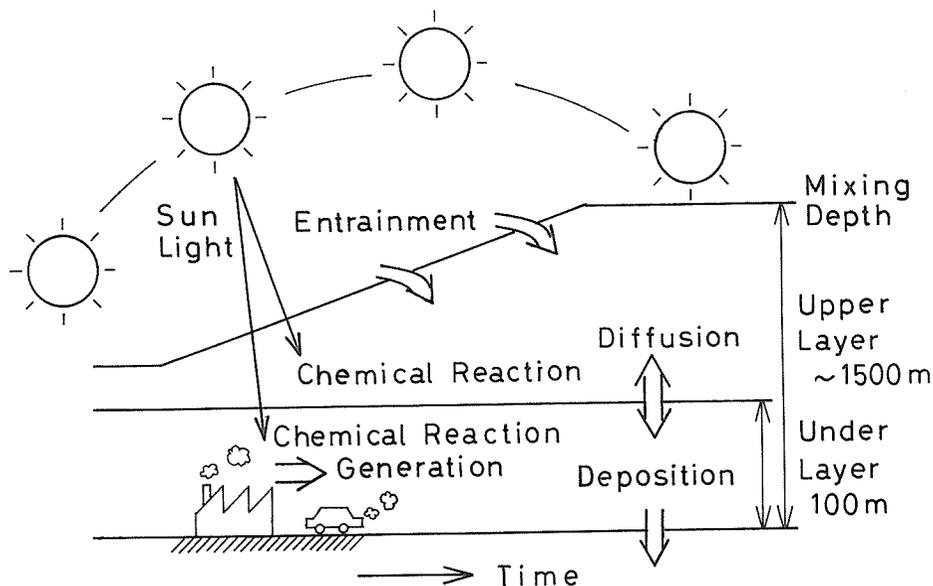


図1 モデル概念図

下層 Box 内で i 種の物質の濃度を C_i とすると以下のように表現できる。

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = K_z \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial C_i}{\partial z} \right) + q_i + r_i \quad (1)$$

K_z は鉛直方向の拡散係数で q_i , r_i はそれぞれ単位時間における物質 i の発生量および化学反応による変化量である。また、 t は時間、 z は地表面からの高さである。

地表面境界での物質収支は、地表面におけるフラックスが沈着に等しいと仮定し、物質 i の沈着速度 V_{gi} を使用して以下のように表現する。

$$K_z \frac{\partial C_i}{\partial z} = V_{gi} \cdot C_i \quad (2)$$

また、上面境界(上層 Box の上部境界)では拡散がないとして、フラックスは 0 である。

$$K_z \frac{\partial C_i}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

また、エントレインメントについては、混合層高度が発達した分を上層 Box にのみ単純に取り込み、濃度の変化を計算した。

$$\frac{\partial C_{2i}}{\partial t} = \frac{\partial H \cdot C_{ui} + H_2 C_{2i}}{\partial H + H_2} - C_{2i} \quad (4)$$

ここで C_{2i} , C_{ui} はそれぞれ上層 BOX および上部面の物質 i の濃度, H_2 は上層 BOX 高さ, ∂H は ∂t 間の混合層高度の変化である。

2.2 汚染物質の発生

2.2.1 対象物質

対象とする汚染物質は NO_x と炭化水素類(HC)を考える。ここで言う HC とは、メタン(CH_4)を除く非メタン炭化水素を総括的にとらえたものをさすが、HC の反応性は種類によって大きく変わるので組成についても考慮しなくてはならない。この HC の組成は発生源別に与えるものとする。一酸化炭素(CO)は一次汚染物質には含まれないものとする。また、硫黄酸化物(SO_x)はモデルでは扱わない。汚染物質の発生量およびその組成を表 1 にまとめた。

2.2.2 移動発生源

首都圏を走行している自動車の走行台キロを車種別で、1日当たり、25 km^2 あたりの走行台キロに換算する。これを1日の走行パターンで1時間当りの走行台キロに換算し時刻変動を与えた後、さらに1台キロあたりの車種別の NO_x および HC 排出係数を乗じて、1時間当りの発生量とする。排出係数は、ここでは昭和 55 年度値として求められた車種別 NO_x , HC 排出係数を使用した⁵⁾。組成分類については、 NO_x の組成は $NO:NO_2$ を 9:1 とし⁵⁾, HC の組成は川崎市の道路沿いの HC の組成分析の結果を使用した⁶⁾。メタノール車の排出係数は、 NO_x および CH_3OH については北米でデモンストレーション走行している Detroit Diesel 社バスの排出係数を使用し⁷⁾, HCHO の排出係数については Harris ら⁸⁾ によって仮定されているメタノール車の排出係数を参考に、 CH_3OH の排出量の 10% および 20% を HCHO の排出量として計算した。車種別排出係数については表 2 に示す。

表 2 車種別 NO_x , HC 排出係数

排出係数(g/台・km)	NO_x	HC	CH_3OH	HCHO
乗用車	0.81	1.36	CH_3OH は HC の 1.0×10^{-4} 倍	
軽乗用車	0.37	1.25		
貨客車	1.94	2.04		
小型貨物車	1.94	1.66		
軽貨物車	0.83	1.21		
普通貨物車	5.49	1.66	HCHO は HC の 1.7×10^{-2} 倍	
特殊車	5.49	1.66		
乗合車	7.85	2.44		
メタノール車	2.58	0	1.56	CH_3OH の 10%, 20%

2.2.3 固定発生源

固定発生源からの NO_x の発生量は昭和 56 年度の東京都全体の値を使用した⁹⁾。これを 25 km^2

当り、1時間当りの量に換算して発生量とした。組成は移動発生源の場合と同様に NO:NO₂ を 9:1 とした。

HC の発生は油槽所、給油所、塗料、溶剤(印刷、クリーニング等)からの蒸発を考慮し、昭和56年試算の東京23区内の値を使用した⁹⁾。発生量の時刻変動については、給油所での給油に伴う HC の排出は1日の自動車走行量に応じて時間配分し、油槽所、塗料および溶剤からの蒸発に伴う HC 排出は、一様であるとして1時間当りの平均値を使用した。さらに発生源別に HC の組成分類

表1 発生源別汚染物質の発生量および HC および含酸素化合物の組成分類と CBM-IIIIM の代表種への対応

汚染物質名	移動発生源*	ガソリン**	塗料	溶剤	NO _x 固定発生源	CBM-IIIIM での対応
NO	2132(90)	—	—	—	616(90)	NO
NO ₂	237(10)	—	—	—	68(10)	NO ₂
Ethane	62(3.1)	0(0)	0(0)	159(2.4)	—	PAR×0.4
Ethene	240(12.0)	0(0)	0(0)	404(6.1)	—	ETH×1
Propane	122(6.1)	24(1.8)	0(0)	365(5.5)	—	PAR×1.5
Propene	112(5.6)	0(0)	0(0)	146(2.2)	—	OLE×1+PAR×1
i-Butane	92(4.6)	195(15.2)	0(0)	172(2.6)	—	PAR×4
n-Butane	302(15.1)	245(19.1)	0(0)	411(6.2)	—	PAR×4
i-Pentane	208(10.4)	458(35.7)	0(0)	444(6.7)	—	PAR×5
n-Pentane	120(6.0)	168(13.1)	0(0)	252(3.8)	—	PAR×5
2, M, Pentane	76(3.8)	81(6.3)	0(0)	232(3.5)	—	PAR×6
3, M, Pentane	46(2.3)	40(3.1)	0(0)	166(2.5)	—	PAR×6
Hexane	88(4.4)	41(3.2)	0(0)	298(4.5)	—	PAR×6
Benzen	112(5.6)	12(0.9)	0(0)	391(5.9)	—	NR
Tolen	210(10.5)	13(1.0)	1076(25.7)	1671(25.2)	—	PAR×1+ARO×1
Ethyl Benzene	32(1.6)	1.3(0.1)	1365(32.6)	259(3.9)	—	PAR×2+ARO×1
p, m-Xylen	48(2.4)	3.9(0.3)	1268(30.3)	530(8.0)	—	PAR×2+ARO×1
o-Xylen	22(1.1)	1.3(0.1)	481(11.5)	497(7.5)	—	PAR×2+ARO×1
HCHO	17(1.7)	0(0)	0(0)	0(0)	—	HCHO
Acetaldehyde	4(0.3)	0(0)	0(0)	0(0)	—	CARB×1
C ₄ 以上のアルデヒド	8(0.4)	0(0)	0(0)	0(0)	—	CARB×1
Acetone	7(0.4)	0(0)	7(6.7)	0(0)	—	PAR×3
CH ₃ OH	0.1(0.01)	0(0)	0(0)	0(0)	—	METH
Benzaldehyde	11(0.3)	0(0)	0(0)	0(0)	—	ARO×1+CARB×1
M. E, Ketone	0.9(0.04)	0(0)	7(5.8)	0(0)	—	PAR×1+CARB×1

(kg/(day・25 km²)) あたり、カッコ内は NO_x および HC に対する％、ただし含酸素化合物は HC に対する mol％)

*メタノール車を導入しない場合

**油層所、給油所からの排出を行った⁶⁾¹⁰⁾ (表1)。

2.2.4 含酸素化合物の取扱

本研究ではメタノール車の排出ガスに含まれる CH₃OH および HCHO を重要な大気汚染物質として取り扱っており、それゆえ他の汚染物質発生源からの含酸素化合物の排出もおろそかにで

きない。しかし含酸素化合物の発生源の調査は十分でなく、ここでは Hough による AERE モデル¹¹⁾ で使用されているデータにより、それぞれの HC 発生源別に総 HC 排出量に対する比として含酸素化合物の発生量を与えた (表 1)。

2.3 シミュレーション条件

2.3.1 シミュレーション対象日

わが国において光化学オキシダントは、晴または曇り、気温 24℃以上、風速 4 m/s 以下、上空に安定層が存在するなどの条件で高濃度となり、光化学オキシダント注意報の発令される時期は 6 月から 8 月に集中している¹²⁾。そこで本研究では対象日として、首都圏で高濃度オキシダントが観測された昭和 63 年 7 月 6 日を選び、このときの気温、日射量等の観測値を使用した。シミュレーションは午前 6 時より開始して午後 6 時までとした。

2.3.2 気象パラメータの設定

(1) 鉛直方向の拡散係数 鉛直方向の拡散係数 K_z (m^2/s) については、大気の大安定度が中立であるとして、MacCracken ら¹³⁾ による広域大気汚染評価のための LIRAQ モデルの中で使用された次式による。

$$K_z = \kappa u_*^2 = 0.1 \kappa u_1^2 \quad (5)$$

κ はカルマン定数、 u_* は摩擦速度、 u_1 は地上 1 m における風速である。本研究では移流を考慮していないので、 u_1 については一定の値 2 (m/s) を用いて K_z の算出を行った。鉛直方向の拡散は下層 Box および上層 Box 間の物質輸送に使用される。

(2) 混合層高度 混合層は日の出とともに熱フラックスの増大ともなって成長し、午後 2~3 時ごろ最も高くなる。時刻 t における混合層高度 H_t (m) を積算日射量 I (cal/cm^2) を使って表現すると以下のようなものである。

$$H_t = 76.8 I^{0.499} \quad (6)$$

ただし、 $76.8 I^{0.499} \geq 1500$ のときは H_t は 1500 (m) とした。積算日射量は東京管区気象台の日射量の 1 時間値を使用した。

(3) 沈着速度 汚染物質の沈着速度については、本研究では AERE モデル中で使用されている沈着速度を使用した。それによると O_3 、 NO_2 、PAN (パーオキシアセチルナイトレート) についてそれぞれ 0.8、0.6、0.3 (cm/s) である。

(4) その他 気温および湿度については大気汚染常時測定局 (国設東京) の 1 時間値、太陽高度の変化による NO_2 光解離定数は文献による 1 時間値⁵⁾ を使用した。

2.3.3 初期条件および境界条件

境界条件については、側面の境界は考慮せず、上面境界では成層圏からの O_3 流入を考慮して O_3 を 40 ppb、その他の汚染物質濃度は 0 ppb とした。汚染物質濃度の初期条件は国設東京での午前 6 時の測定値をそのまま使用した。

2.5 化学反応スキーム

光化学反応の評価を行うに際し、化学反応のスキームの選択という問題がある。光化学反応のスキームには目的に応じて非常に精密なものから簡単なモデルまで様々なものがあるが、本研究のような One-Box モデルでは上層および下層の 2 つの Box 内での化学反応計算で済むこと、および光化学スモッグの予報として使用するのではないので計算時間についての制約がそれほどないことから、一般化モデルを用いることにした。一般化モデルとは、化学的挙動が類似した有機化学種を抽象的な代表分子で代表させ、それら全ての化学種の平均的速度定数を用いて計算を行

うものである。具体的には、Whittenらによって開発されたCBM (Carbon Bond Mechanism) シリーズの中から、メタノール車の導入による大気質の変化を念頭においたCBM-III Mモデル¹⁴⁾を使用した。CBM-III Mモデルにおいて、HCは、反応性の高い二重結合(OLE)、反応性の低い一重結合(PAR)、反応性の低い二重結合(ARO)およびエチレン(ETHE)に分けられている。また、カルボニル基をもつものはカルボニル(CARB)としてまとめられているが、 CH_3OH の反応が新たに加えられており、カルボニル類からHCHOを独立させている。このCBM-III Mモデルによる有機化合物の分類方法は表1に示すとおりである。使われている反応式は86本である。

2.6 首都圏へのメタノール車導入のシナリオ

幹線道路近傍等での NO_x 削減の対策のひとつとしてメタノール車を導入する場合、走行キロあたりの NO_x の排出量が大きい大型ディーゼル車をメタノール車に変換するのが効果的であると考えられる。また、導入方法を考慮しても、バスのような公共的性格を持つものの方が政策的にも導入しやすいと思われる。現在、アメリカ、西ドイツなど世界各地でバスをはじめとしたメタノール車のデモンストレーションが行われており、その結果も良好である¹⁵⁾。そこで、本研究においても大型ディーゼル車をメタノール車に転換した場合についてシミュレーションを行うことにした。しかし、首都圏を走行するバスの全走行キロに占める割合が1%程度と低いので、メタノール車導入後の大気質の変化をより明確にとらえるために、全走行キロに占める割合が13%程度である普通貨物車についての転換も考え、メタノール車への転換が行われない場合(①)、バスのみをメタノール車に転換した場合(②)および、バスおよび普通貨物車をメタノール車に置換した場合(③)の三通りのシナリオについてシミュレーションを行った。また、②③についてはHCHOの排出係数を CH_3OH の10%および20%の二通りを考慮しているので、それぞれの条件についてもシミュレーション

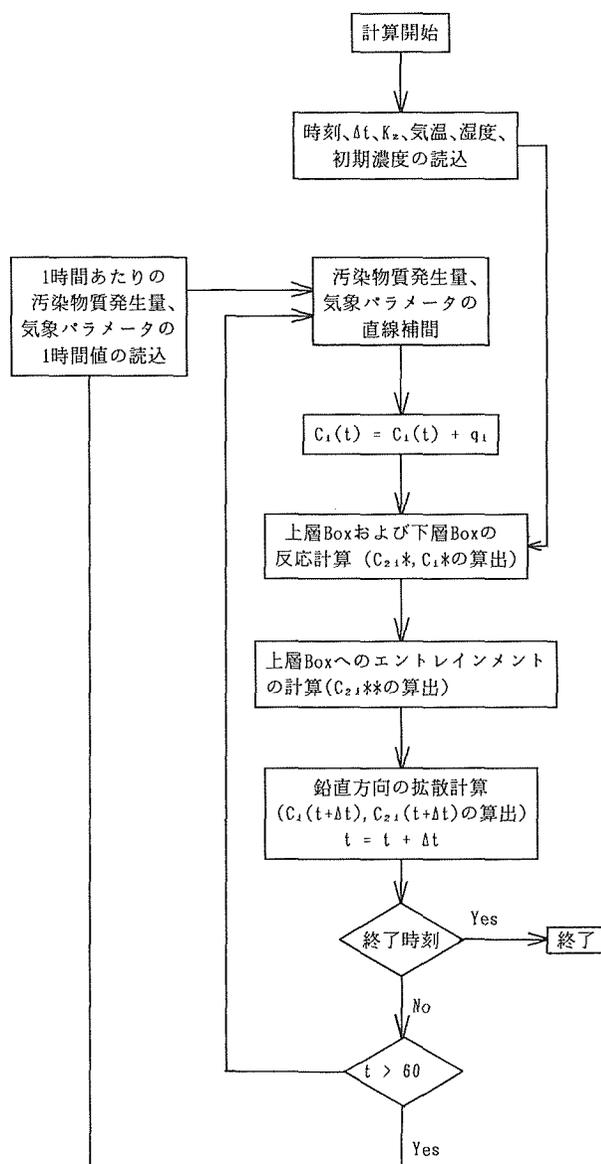


図2 計算フローチャート

を行った。

2.7 計算手法

時間ステップを Δt 、時刻 t における i 物質の濃度を上層および下層においてそれぞれ $C_{2i}(t)$ および $C_i(t)$ とし、微分方程式(1)の数値解を求める。まず、下層 Box に Δt 間に発生する汚染物質質量 $q_i \cdot \Delta t$ を $C_i(t)$ に加え、 Δt 間の化学反応計算を Gear 法によって、上層 Box および下層 Box でそれぞれ行う。それによって得られる濃度を C_{2i}^* 、 C_i^* とする。上層 Box では、 C_i^* についてエントレインメントによる希釈を行い濃度を C_{2i}^{**} とする。さらに C_i^* と C_{2i}^{**} を使用して鉛直方向の拡散による濃度変化を Crank-Nicolson 法で解き、得られた濃度を Δt 後の濃度 $C_{2i}(t+\Delta t)$ および $C_i(t+\Delta t)$ とした。時間刻み Δt は 6 分とした。NO₂ 光解離定数、気温、湿度、積算日射量、および汚染物質発生量について与えられている値は 1 時間値なので、直線補間した値を Δt ごとに入力した。計算のフローチャートを図 2 に示す。

3. 結果

図 3 にシミュレーション①の結果を示す。それによると、典型的な光化学反応による O₃ の生成の様子が現れている。参考のために NO および NO₂ の挙動についてもあわせて示したが、この One-Box モデルでは移流による希釈の効果を考えていないので、NO および NO₂ の濃度変化が急激で、実際に首都圏で観測される O₃ 濃度よりは 2 倍近く高いものとなっている。また、発生した 1 次汚染物質の影響を直接的に受けているために、正午頃の O₃ 生成がゆるやかとなっており、夕方はラッシュアワーによる移動発生源からの汚染物質発生量の増加のために O₃ の減少が緩慢である。

さて図 4 に、シミュレーション②および③の O₃ 濃度変化を示す。その結果は、②の場合、①と比較して、O₃ の最大濃度が若干低くなっているが、全体的にほとんど差はない。これは首都圏を走行するバスの全体に占める割合が低く、メタノール車導入による大気質の変化自体が小さい

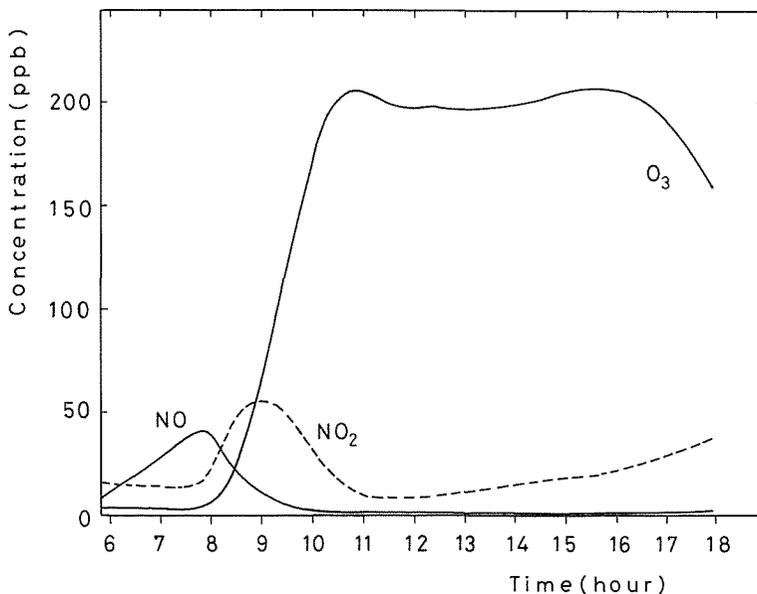


図3 ①メタノール車を導入しない場合のシミュレーション結果

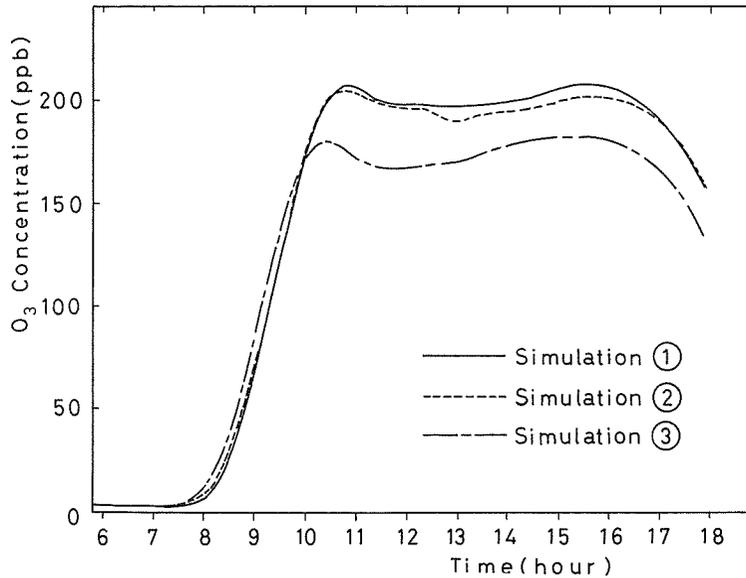


図4 メタノール車を導入した場合のO₃生成のシミュレーション結果

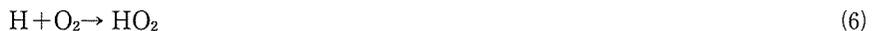
めと思われる。

つぎに、③の結果に注目してみると、②に比較して、O₃生成の速度は早まっている。しかしO₃の濃度は全体的に低くなっていることが認められる。ここではメタノール車のHCHOの排出係数はCH₃OH排出量の10%値を使用したのが、O₃生成量について20%にした場合と比較すると、③の場合、その差は3 ppb以下と小さいものであった。

4. 考 察

シミュレーション①および③の結果について、本研究で使用した発生源データをもとに考察してみる。

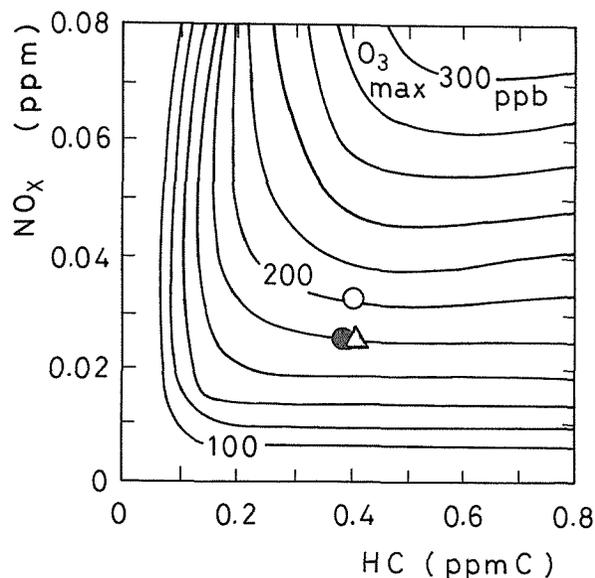
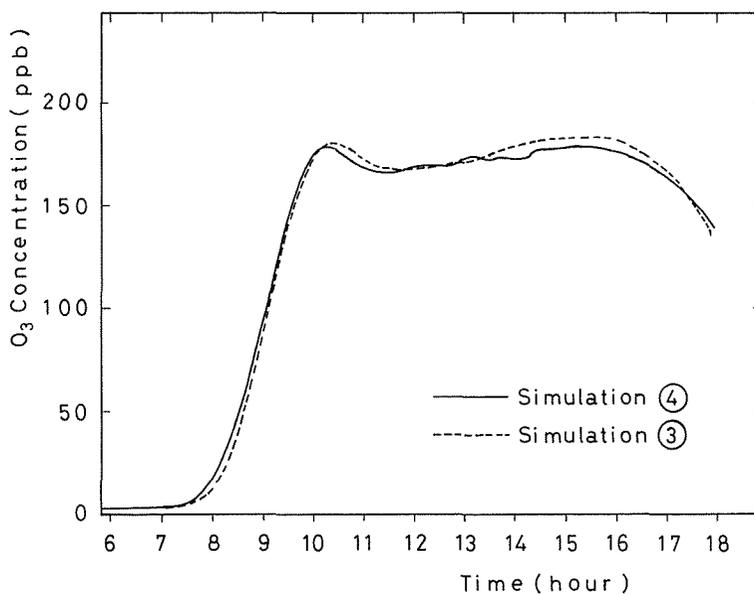
HCHOは、燃焼によって生成する一次汚染物質であるが、光化学反応によっても生成する重要な大気汚染物質である。このHCHOの大気中での反応は以下のようなものである。



ここで生成されたHO₂ラジカルはNOの酸化を促進しO₃の生成速度を早めると考えられる。



しかし、シミュレーション①および③の結果を比較してみると、③の1時間当りのHCHO発生量は①に比べ約2.5倍になっているにもかかわらず、生成するO₃量は減少している。これはシミュレーション③において大規模なメタノール車の導入にともなうNO_xの発生量の削減効果によるものと考えられる。このことは、閉鎖系におけるO₃生成最大量と初期NO_xおよびHC濃度によりO₃生成等濃度曲線として表現した図5⁶⁾を使っても説明できる。すなわち初期NO_xとHCの濃度比が1:10を境として、O₃等濃度線の形態が異なる。すなわちHC/NO_xが10以上の場合は、

図5 O₃等濃度曲線図6 NO_xのみを削減した場合におけるO₃生成のシミュレーション結果

O₃生成量はNO_x濃度に依存し、10以下になるとO₃生成量はHC濃度に依存する。ただしこの等濃度曲線は、汚染物質の発生や気象条件を考慮していないことに留意する必要があるが、①で与えた汚染物質の1時間当りの発生量の平均をとって図5に○で示してみると、NO_x:HCが約1:13でNO_x依存型であり、③におけるNO_x発生量の減少がO₃生成を抑制している様子がわかる(図5中の●)。

そこで、③においてNO_xの削減がO₃生成を抑制していることを知るために、図6に示すように、①について発生するNO_x量のみを削減した場合(④)の計算を行った。④の条件はNO_x量

が③の場合と同じであるがその他の汚染物質の量は①に等しい。その結果、④よりも HCHO 排出量が 2.5 倍高い③と O₃ 生成量を比較しても大きな違いはみられなかった。ここで仮に、HCHO を反応性の高い HC とみなせば、④の条件では同一 NO_x 濃度であれば、HC の変化量が大きくても O₃ 生成に大きな影響を与えないことがわかる (図 5 中の△)。つまり本研究で与えた汚染物質の発生条件においては、O₃ 生成量は NO_x 発生量に依存し、メタノール車の導入は HCHO の増加を招くにもかかわらず O₃ の生成を抑制する。

しかし、実際には局所的に NO_x が高濃度で、O₃ 生成が HC 依存である地域が存在する可能性もあり、そのようなところでは、HCHO の大気中濃度増加は O₃ 生成に影響を与えると考えられる。また、HCHO 自体発ガン性の疑いがあり重要な大気汚染物質であるものと認識され、メタノール車から排出される HCHO 量を抑える必要があるのは言うまでもない。したがって、より詳しい発生源の把握と、発生源の影響をより正確に反映できるシミュレーションモデルを今後とも開発していく必要があると考えられる。

5. 結 論

首都圏においてメタノール車を導入した場合に、その排出ガスが光化学オキシダント生成におよぼす影響について One-Box モデルを用いてシミュレーションを行った。その結果は以下の通りである。

- (1) 首都圏を走行するバスをすべてメタノール車にした場合、O₃ 生成の立場からはほとんど差はみられなかった。
- (2) 首都圏を走行するバスおよび普通貨物車の全てをメタノール車に転換した場合、HCHO の大気中濃度増加にもかかわらず O₃ 濃度は減少し、光化学オキシダント削減の立場からもメタノール車の導入は有効であることが明らかとなった。
- (3) しかし、本研究において O₃ 濃度が減少するのは、O₃ 生成条件が NO_x 濃度に依存しており、メタノール車導入にともなう NO_x 発生量の削減が効果的に O₃ 生成を抑制したことがわかった。

謝 辞

本研究を行うにあたって、本学部衛生工学科大気汚染制御工学講座の溝口勲教授、太田幸雄助教授、村尾直人助手に貴重な御意見をいただきました。ここに謹んで感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 環境庁編：平成元年度版環境白書 (平成元), p. 468, 大蔵省印刷局
- 2) AFT 国内委員会編：代替エネルギーとしての燃料アルコールの問題 (昭和 55), p. 280, 開発社
- 3) D. Moses and C. Saricks: SAE Paper 872053 (1988)
- 4) B. J. Finlayson-Pitts, J. N. Pitts, Jr: Atmospheric Chemistry, Fundamentals and Experimental Techniques (1986), p. 1098, John Wiley & Sons, Inc
- 5) 富士通 FIP 株式会社, 株式会社日本化学技術研修所, 日本電信電話公社データ通信本部：昭和 58 年度環境庁委託業務結果報告書, 光化学大気汚染に係る予測モデル等作成調査 (昭和 59), p. 728
- 6) 若松 伸司, 鶴野 伊津志, Richard A. Wadden: 国立公害研究所報告 第 61 号 (1984), R-61-84, p. 7-27
- 7) The International Energy Agency: Diesel Exhaust Emissions Legislation and Alcohol Fueled

- Engines, Sypher : Mueller International Inc. (1988)
- 8) J. N. Harris, A. G. Russel and J. B. Milford : SAE Paper 881198 (1988)
 - 9) 財団法人計量計画研究所：昭和56年度環境庁大気保全局委託業務結果報告書，光化学大気汚染に係る大気汚染排出モデル作成調査（昭和57），p. 157
 - 10) 樫村 広秋, 須山 芳明, 才木 義夫, 山本 明夫, 氷見 康治：大気汚染学会誌, 18(昭和58), 5, p. 432-438
 - 11) Adrian M. Hough : AERE Report 12069 (1986)
 - 12) 河村 武：公害と対策, 8 (昭和47), 9, p. 814-819
 - 13) M. C. MacCracken, D. J. Wuebbles, J. J. Walton, W. H. Duerwer and K. E. Grant : J. Applied Meteorology, 17 (1978), p. 254-272
 - 14) G. Z. Whittrn, N. Yonkow, T. C. Myers : Photochemical Modeling of Methanol-Use Scenarios in Philadelphia, (1986), p. 124, U. S. Environmental Protection Agency
 - 15) 財団法人石油活性化センター：昭和63年度新燃料油研究開発調査成果報告書（要約編）（平成元）p. 105