

東京都市圏パーソントリップデータに基づく
過去 30 年間の交通量変化と二酸化炭素排出量変化

Long-term changes in CO₂ emission from transportation sector in Tokyo metropolitan
region based on the person trip surveys for the past thirty years

源 敏速¹・金子慎治²・川原博満¹・井村秀文³

Toshihaya MINAMOTO, Shinji KANEKO, Hiromitsu KAWAHARA and Hidefumi IMURA

ABSTRACT; It is an important issue for global warming problem to reduce greenhouse gas emission from cities of developing Asia nations which grow rapidly. For the purpose, to recognize the relation between CO₂ emission and transportation system of Tokyo metropolitan area can be useful as a bench mark for the developing nations. This paper analyzes individual weekday person trip data (PTD) from the Person Trip Survey of Tokyo metropolitan area and other prefectures around Tokyo area (1968,1978,1988,1998) and estimates CO₂ emission from passenger transportation sector in the area based on the PTD over the past 30 years. This results show that CO₂ emission which is due to the vehicle traffic volume originating in Tokyo and terminating outside Tokyo and is due to the vehicle traffic volume originating outside Tokyo and terminating in Tokyo has been increased significantly for the past 30 years. The contributions of selected driving factors for CO₂ emission are also investigated by factor decomposition method.

Keywords: CO₂ emission, transportation sector, Tokyo, person trip

1. はじめに

長期的温暖化対策の実施において、成長を続ける途上国の都市のGHG排出をいかに抑制するかはアジア地域の大きな課題である。とりわけ、あらゆる新しい変化が先駆けて起こる巨大都市は、将来の対策の実施にとって重要である。こうした視点からアジア地域を眺めてみると、さまざまな観点で東京の経験はこの地域のひとつのベンチマークとして捉えることができる。特に、世界で最も優れた交通システムとして知られる東京の鉄道システムは、今後の途上国のメガシティにおける交通部門の温暖化対策の1オプションとして重要な意味を持つであろう。しかし他方で東京における過密な高速道路網の整備や道路混雑などもよく知られた一面である。そこで交通システム全体として温暖化対策の視点からどう評価すべきか、果たして東京は多くの途上国メガシティにとって目指すべき方向かどうかに関心が持たれる。

日本の運輸交通部門における二酸化炭素排出量の現状は全排出量の約2割¹⁾を占める。部門別二酸化炭素排出量では、運輸交通部門は産業部門の次に大きく、年々増加の傾向にある。1998年度の総排出量が1990年比5.6%増であるのに対し、運輸交通部門は21.0%増¹⁾であった。交通部門全体の排出量のうちでは自動車からの排出量が87.6%を占めており、モータリゼーション進展に伴う自動車走行台キロの増加の影響が伺える。この増加傾向が続けば、2010年の時点では

¹ (株)富士通 FIP Fujitsu FIP Co. Ltd.

² 広島大学大学院国際協力研究科 IDEC, Hiroshima University

³ 名古屋大学大学院工学研究科 Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University.

交通起源の二酸化炭素排出量が 1990 年比で約 40%も増加するといった報告²⁾もなされており、交通部門の二酸化炭素削減対策が急務となっている。

二酸化炭素削減のためには、運輸交通からの二酸化炭素排出量を定量的に把握する必要がある。東京都における集計方法³⁾を例にあげると、自動車からの二酸化炭素排出量は都内自動車走行量を道路種別、車種別、地域別に求め、その値と車種別に設定した排出係数から算出している。また、鉄道からの二酸化炭素排出量は全国における鉄道用電力消費量と東京都における輸送人数比、輸送トン数比によって按分し、東京都における燃料消費量を基に算出している。このような集計方法では東京都全体としての二酸化炭素排出量が把握できるものの、人やものの動き、さらには人口配置や土地利用状況と交通量の関係といった視点から二酸化炭素排出増加要因を把握することは困難である。こうした分析にはパーソントリップ調査 (PT 調査) が不可欠となる。PT 調査とは、住民登録台帳などにより市民を一定比率で無作為抽出して代表となる被調査者を決め、その人のある特定の 1 日の行動の起終点、交通目的、交通手段などをアンケートにより追跡調査したものである。この調査では、一日における目的別・代表的交通手段別交通量が、交通の発着地ごとに割り出されるので、発着地における人口や土地利用状況と交通量との関連性を空間的に把握することが可能となる。

PT 調査結果を使用した二酸化炭素排出量推計の国内の主要な既存研究は以下の通りである。まず、林⁴⁾は運輸交通起源の二酸化炭素排出量を全国の市区町村について人口規模別に分類して推計しており、さらにその削減のための施策を提案した。大西⁵⁾は、宇都宮市の二酸化炭素排出量予測モデルを作成し、低公害車普及などの温室効果ガス排出量削減施策効果を推計した。また、都市構造が交通エネルギー消費量や二酸化炭素削減に与える影響の研究も多くみられ、堀⁶⁾、森本⁷⁾、⁸⁾、⁹⁾は人口配置パターンの変化から、交通エネルギー消費量削減に有効な都市構造を分析している。他方、杉田¹⁰⁾は東京都市圏について交通エネルギー消費量、交通費用、都市整備・維持費用といった指標を用いて、都心居住と郊外居住の違いを評価している。また関¹¹⁾が行った研究では、個人特性・地域特性と交通部門エネルギー消費量との関連性を分析し、その要因抽出を行っている。しかし、アジアにおける都市のベンチマークとして東京を捉え、東京の過去 30 年間にわたる交通需要を生み出す都市構造の変化や社会状況などの変化と二酸化炭素排出量の変化との関連性を分析したものは少ない。

一般に PT 調査は大規模な調査であるため 10 年ごとといったようにあまり頻繁に行われるものではないため、連続的な時間変化をみることに適さない。本研究では、これまで時系列の推計にはあまり用いられなかったパーソントリップ調査データ (68、78、88、98 年) を用いて、東京都市圏における過去 30 年間の二酸化炭素排出量の変化を推計し、交通量との関係について特に長期的時間変化に着目した分析を試みる。

2. 分析方法

(1) 使用データと過去三十年間のパーソントリップ調査データ変化

交通量の把握するにあたり、第 1~4 回パーソントリップ調査を基にする。表 1 にその概要をまとめた。調査日は土、日、祭日および月、金を除く平日の 1 日間となっている。また、調査対象者は調査対象地域内に居住する人である。今回使用したデータは代表的交通手段別 OD 表から、全手段、及び、鉄道、バス、自動車を代表的交通手段とするデータを抽出し分析を行った。東京都市圏における交通量を分析するにあたり、まず、東京都内で生成される交通量と東京都外で生成される交通量とに分類した。次にその生成交通量の発着地を把握するために 4 パターンの

発生、集中交通量を定義した。

「都内→都内」：東京都内で発生し、東京都内に着地を持つ交通量

「都内→都外」：東京都内で発生し、東京都外に着地を持つ交通量

「都外→都内」：東京都外で発生し、東京都内に着地を持つ交通量

「都外→都外」：東京都外で発生し、東京都内を通過し、東京都外に着地を持つ交通量

表 1 第1～4回東京都市圏パーソントリップ調査概要

調査	調査年	調査時期	調査対象圏域
第1回パーソントリップ調査	1968	10月～12月	東京都、神奈川県、埼玉県、千葉県、ただし、東京都島嶼部、千葉県房総部（首都圏近郊整備地域外）、埼玉県秩父地域を除く
第2回パーソントリップ調査	1978	10月～12月	東京都、神奈川県、埼玉県、千葉県、茨城県南部。ただし、東京都島嶼部を除く
第3回パーソントリップ調査	1988	10月～12月	東京都、神奈川県、埼玉県、千葉県、茨城県南部、ただし、東京都島嶼部を除く第2回の圏域に茨城県鹿島地域を加えた範囲
第4回パーソントリップ調査	1998	10月～12月	第3回調査と同じ

表 2 東京都市圏における各観測年の交通量

	都内→都内	都内→都外	都外→都内	都外→都外	合計
1968	25,076	1,988	2,004	55	29,123
1978	27,568	2,927	2,950	96	33,541
1988	26,938	3,798	3,821	156	34,712
1998	26,812	4,301	4,360	219	35,692

(1000 トリップ/日)

なお、ここで東京都を通過した交通量は、神奈川県内で発生し、千葉県、埼玉県、に着地を持つ交通量、もしくは千葉県、埼玉県で発生し、神奈川県内に着地をもつ交通量のことを示す。茨城県南部のデータについては、今回は過去30年間の時系列変化を分析するために集計から除いている。表2に各観測年における都内外の交通量を示した。1998年における全交通量は30年前と比較すると、約23%増加している。しかしながら、都内→都内交通量に着目してみると、過去30年間で約7%の増加で、あまり変化していないことがわかる。交通量の増加分は都内→都外交通量、都外→都内交通量の増加に起因している。次に都内→都外交通量、都外→都内交通量を代表的交通手段である鉄道、バス、自動車について見た場合の結果を示す。

表3に交通手段別都内→都外/都外→都内交通量の変化をそれぞれの観測年ごとに示した。都内→都外交通量については、鉄道、及び自動車によるトリップ数の増加が全体の交通量の増加につながっている。また、交通手段の比率は変化が見受けられなかった。都外→都内交通量についても、都内→都内交通量と同じく年々増加の傾向がみられ、またそれらの増加は鉄道と自動車によるトリップ数の増加に起因している。

これらの分析を踏まえて、次章では東京都

内外交通量からの二酸化炭素排出量算出を試みる。

算出された二酸化炭素排出量の年ごとの変化と交通手段との変化とを比較、検討する。

表 3 手段別「都内→都外」、「都外→都内」交通量

観測年	「都内→都外」			「都外→都内」		
	鉄道	バス	自動車	鉄道	バス	自動車
1968	1,486	53	396	1,511	53	388
1978	2,169	34	658	2,216	33	635
1988	2,902	22	781	2,961	21	745
1998	3,296	22	879	3,354	23	869

(1000 トリップ/日)

（２）パーソントリップ調査データを用いた交通部門の二酸化炭素排出推計

代表的交通手段である鉄道、バス、自動車についての推計方法を述べる。これらの交通機関の燃料となる電気、軽油、ガソリンについての二酸化炭素排出係数を用いて以下の式により推計を行った。

①鉄道： $ET_{CO_2} = EF_{TRAIN} \times EU_{TRAIN} \times DIST_{TRAIN} \times (TRIP_{TRAIN} / PASSENGER_{TRAIN})$

ET_{CO_2} ：鉄道による二酸化炭素排出量(kg- CO₂/日)、 EF_{TRAIN} ：電気の使用に伴う二酸化炭素排出係数 (kg- CO₂/kWh)、 EU_{TRAIN} ：鉄道エネルギー消費原単位(kcal/km)
 $DIST_{TRAIN}$ ：鉄道平均移動距離(km)、 $TRIP_{TRAIN}$ ：一日における鉄道によるトリップ数 (人/日)、 $PASSENGER_{TRAIN}$ ：鉄道平均乗車人数 (人)

②バス： $EB_{CO_2} = EF_{BUS} \times GM_{BUS} \times DIST_{BUS} \times (TRIP_{BUS} / PASSENGER_{BUS})$

EB_{CO_2} ：バスによる二酸化炭素排出量(kg- CO₂/日)、 EF_{BUS} ：軽油二酸化炭素排出係数 (kg- CO₂/l)、 GM_{BUS} ：バス燃料消費率 (l/km)、 $DIST_{BUS}$ ：バス平均移動距離(km)、 $TRIP_{BUS}$ ：一日におけるバスによるトリップ数 (人/日)、 $PASSENGER_{BUS}$ ：バス平均乗車人数 (人)

③自動車： $EC_{CAR} = EF_{CAR} \times GM_{CAR} \times DIST_{CAR} \times (TRIP_{CAR} / PASSENGER_{CAR})$

EC_{CAR} ：自動車による二酸化炭素排出量(kg- CO₂/日)、 EF_{CAR} ：ガソリン二酸化炭素排出係数 (kg- CO₂/l)、 GM_{CAR} ：自動車燃料消費率 (l/km)、 $DIST_{CAR}$ ：自動車平均移動距離(km)、 $TRIP_{CAR}$ ：一日における自動車によるトリップ数 (人/日)、 $PASSENGER_{CAR}$ ：自動車平均乗車人数 (人)

式①～③について用いられた各交通手段の平均移動距離は、パーソントリップ調査である交通機関別平均所要時間と交通手段別平均移動速度を用いて算出した。交通機関平均移動速度は表 2 のように設定した。また、計算に使用したパラメータを表 3 にまとめた。

二酸化炭素排出係数、エネルギー消費原単位は過去 30 年間に於いてあまり変化がなかったとして、一定¹⁾とした。また、燃費も 10 モードから算出された値

は、年を追うごとに向上しているが、実際の燃費は 10 モード燃費をかなり下回っており、またあまり経年変化が見られないことが報告¹⁷⁾されており、ここでは同じ値を使用した。

表 4 交通手段別平均速度 (km/h)
(自動車、バスの平均速度は 12)、18 から推計)

交通手段	鉄道	自動車	バス
1968	45	21.96	12.48
1978	45	20.84	11.84
1988	45	20.23	11.5
1998	45	19.81	11.26

表 5 計算使用パラメーター一覧

パラメータ項目	交通手段	式中記号	数値	単位	出典
二酸化炭素排出係数	鉄道(電気)	EF_{TRAIN}	0.357	kgCO ₂ /kWh	
	バス(軽油)	EF_{BUS}	2.31	kgCO ₂ /l	13)
	自動車(ガソリン)	EF_{CAR}	2.64	kgCO ₂ /l	
エネルギー消費原単位	鉄道	EU_{TRAIN}	5562	kcal/km	14)
燃費	バス(軽油)	GM_{BUS}	0.11	l/km	
	自動車(ガソリン)	GM_{CAR}	0.33	l/km	15)
平均乗車人数	鉄道	$PASS_{TRAIN}$	441.04	人	16)
	バス	$PASS_{BUS}$	10.86	人	
	自動車	$PASS_{CAR}$	1.42	人	17)

算出された排出量の妥当性を確かめるために、他の算出方法で計算された二酸化炭素排出量と

の比較を行った。表6にその結果を示す。前述した推計式からは、1日における二酸化炭素排出量が算出されるので、その値に365との積をとることで年間値を推計した。全体排出量は比較する排出量に対して過大評価の値になっている。都内→都内排出量については過小評価の値になっている。比較された排出量は人の移動についての交通量の他に物資の移動についての交通量も含まれている。一方、パーソントリップ調査でも物資輸送のための自動車の動きは把握しているが、鉄道などによる物資輸送が把握されておらず、また営業車の業務運転は採録されていない。今後、より正確な推計を行うにあたり、以上のことを考慮する必要がある。また、今回、日間値から年間値を算出するにあたって単純に365倍したが、パーソントリップ調査は平日に行われており、土、日、祭日などを考慮した調整係数を設けて年間値を算出するなどの工夫が今後必要である。

東京都内→都内排出量の変化と比較するとその他の3つの排出量は大きく増加している。これは排出量の増加原因が東京都外で発生し東京都内で帰着する交通量、東京都内で発生し、東京都内に帰着する交通量、もしくは東京都内を通過する交通量の増加に起因する。

表6 算出された二酸化炭素排出量と他の推計値との比較 (1,000 t- CO₂ /年)

(*)都におけるエネルギー需給構造調査報告書：エネルギー消費量から推計（最も近い年の値を示した）

年	比較値 (年) (*)	総排出量	都内→都内	都内→都外	都外→都内	都外→都外
1968	2,453 (1970)	4,619	3,061	721	742	95
1978	3,866 (1980)	6,172	3,690	1,137	1,155	190
1988	4,889 (1990)	6,690	3,650	1,341	1,390	310
1998	5,823 (1998)	7,645	3,734	1,971	1,530	411

次に、都内→都内排出量、都内→都外排出量、都外→都内排出量、都外→都外排出量についてそれぞれ、鉄道、バス、自動車別の二酸化炭素排出量を比較した。表7にその値を示した。

表7 各交通量における代表的交通手段別二酸化炭素排出量 (単位：t- CO₂/日)

年	都内→都内排出量			都内→都外排出量			都外→都内排出量			都外→都外排出量		
	鉄道	バス	自動車	鉄道	バス	自動車	鉄道	バス	自動車	鉄道	バス	自動車
1968	1,243	913	6,231	456	39	1,481	454	36	1,542	148	3	110
1978	1,402	581	8,126	671	29	2,416	671	27	2,467	240	4	278
1988	1,537	481	7,981	884	19	2,771	891	18	2,898	400	1	447
1998	1,581	437	8,213	1,120	14	4,266	1,014	17	3,160	539	2	583

都内→都内交通量からの二酸化炭素排出量の変化については、1978年から1998年までの20年間において、全排出量、及び交通機関別排出量に変化がみられないことが読み取れる。一方、都内→都外交通量からの二酸化炭素排出量の変化については、自動車からの二酸化炭素排出量の増加がとくに最近10年間で著しい。1998年における排出量は1988年比で約56%の増加である。都外→都内交通量からの二酸化炭素排出量の変化は都内→都外交通量からの二酸化炭素排出量の変化と同様に自動車からの排出量の増加が著しいことが伺える。都外→都外交通量からの二酸化炭素排出量の変化は、他の交通量からの二酸化炭素排出量と比較して鉄道からの排出量の割合が多いことが読み取れる。このことは鉄道の移動距離に起因すると思われる。

表7の結果を検討するにあたり、まず以下のことが指摘できる。すなわち、都内で発生して都内

に着する交通量からの二酸化炭素排出量は過去 20 年間、約 5.5%の増加となっており、あまり変化していない。また、都外で発生して都内に着する交通量、都内で発生して都外に着する交通量については、自動車による移動からの排出量が増加している。次に、都内→都外交通量による二酸化炭素排出量変化、都外→都内交通量による二酸化炭素排出量変化についての要因分析をおこない、その変化の主たる要因を特定することを試みる。

(3) 要因分析

(2) で算出した二酸化炭素排出量について、その変動を諸要因に分解し、各要因の増減に対する寄与度を明らかにする。ここでは、以下の式に従って、二酸化炭素排出量に対する要因分析を下記の式に従って行う。() 内は図中記号を示す。

$$CO_2 = CI \times EI \times DI \times T$$

CO_2 : 交通部門からの二酸化炭素排出量(CO_2 (kg- CO_2))

CI : エネルギー消費量当たりの二酸化炭素排出量(Carbon Intensity (kg- CO_2 /kcal))

EI : 交通機関における移動距離当たりのエネルギー消費量(Energy Intensity (kcal/km))

DI : 交通機関における移動トリップ数当たりの移動距離(Travel Distance (km/trip))

T : 交通機関における移動トリップ数(Number of trip (trip))

結果を図 1、2 に示した。これらの図から、過去 30 年間における二酸化炭素排出量の変動の要因として、交通機関における移動距離当たりのエネルギー消費量の変動、および交通機関における移動トリップ数の変動が大きく寄与していることがわかる。また、変動要因の構造については過去 30 年間において、大きな変化は見られなかった。

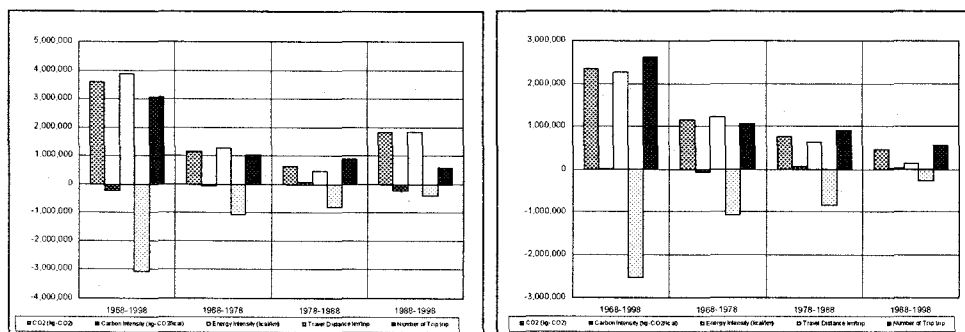


図 1 二酸化炭素排出量についての要因分析 (都内→都外) 図 2 二酸化炭素排出量についての要因分析 (都外→都内)

また、移動トリップ数あたりの移動距離については負の変動となっている。このことは、移動トリップ数あたりの移動距離は過去 30 年間において減少しており、二酸化炭素排出量の増加変動に対して主要因となっていないことを意味している。今回の研究では、移動距離はパーソントリップ調査における代表的交通手段別平均所要時間と代表交通手段別平均速度の積から計算しているため、過去 30 年間における東京都内から都外への、また都外から都内への移動時間が短縮されると、その結果、移動距離が減少してしまう。従って、図 1、2 に示すような結果になったことが推測される。

3. 結論、今後の課題

本研究においては、まず、パーソントリップ調査データを使用して交通量を東京都内と都外に分類した。それらの交通量が生成する地域と集中する地域を把握し、それぞれの交通量についての時系列比較を行った。その結果、東京都内で生成され、東京都内に帰着する交通量については、過去 30 年間あまり変化していないことが明らかになった。一方、東京都内で生成され、東京都外に帰着する交通量、また東京都外で生成され東京都内に帰着する交通量については、著しく増加していることが示された。使用された代表的交通手段の割合は過去 30 年間に於いて、その差異は見られなかった。

これらの結果を踏まえて、各交通量に起因する二酸化炭素排出量の算出を行った。代表的交通手段としては、鉄道、バス、自動車の 3 つの交通手段を取り上げた。算出された二酸化炭素を時系列で比較してみると、年々増加の傾向にあり、特に自動車からの排出量が増加していることが明らかになった。特に、東京都内で発生して東京都外に帰着した交通量、また、東京都外で発生して東京都内に帰着した交通量の 2 つの交通量に起因する自動車からの排出量の増加が顕著である。このように、交通量、二酸化炭素排出量の変化の空間的な分析をより細かく行うことで、排出量増加率の高い地域を特定することができる。なお、今回の推計では、計算に使用したパラメータは計算年について共通としたが、計算年ごとに整備することが望ましい。

要因分析の結果から過去 30 年間に於ける二酸化炭素排出量の変動の要因として、交通機関における移動距離当たりのエネルギー消費量の変動、および交通機関における移動トリップ数の変動が大きく寄与していることがわかった。また、変動要因の構造については過去 30 年間に於いて、大きな変化は見られなかった。

参考文献

- 1) 平成 13 年度版・環境白書（環境省）
- 2) 林良嗣：地球温暖化に対する運輸施策メニューの体系的整理の一提案、季刊 MOBILITY 第 107 号、Page2-14,1997,4
- 3) 東京都環境局 都におけるエネルギー需給構造調査報告書（平成 10 年 3 月）
- 4) 林良嗣、中村英樹、加藤博和、丸太浩史：運輸交通部門からの CO₂ 排出削減のための施策オプションとその目標設定、地球環境シンポジウム講演集, Vol6 Page121-127 1998
- 5) 大西博文、上坂克巳 小根山裕之：都市域の交通部門における温暖化防止施策の総合評価に関する研究、建設省土木研・土木研究所資料, No.3691 Page59-63 2000
- 6) 堀裕人、細見昭、黒川洸：自動車エネルギー消費量から見たコンパクトシティに関する研究、日本都市計画学会学術研究論文集, No34, Page241-246 1999
- 7) 森本章倫理、小美野智紀、品川純一、森田哲夫：東京都市圏における PT データを用いた輸送エネルギー推計と都市構造に関する一考察、土木計画研究・後援集, No34, Page241-246 1999
- 8) 森本章倫理、古池弘隆：都市構造が運輸エネルギーに及ぼす影響に関する研究、日本都市計画学会学術研究論文集, No30 Page685-690 1995
- 9) 森本章倫理、古池弘隆：都市構造から見た運輸エネルギー削減施策の効果推計に関する研究、日本都市計画学会学術研究論文集, No33 Page181-186 1998
- 10) 杉田浩、関野達也、谷下雅義、鹿島茂：交通エネルギー消費量、交通費用、都市整備・維持費用からの都心居住と郊外居住の比較分析、都市計画論文集, No.35 Page.247-252 2000
- 11) 関恵子、石田東生：東京都市圏における交通部門のエネルギー消費量と個人特性・地域特性との関連

性、土木計画研究・後援集, No19(1) Page537-540 1996

12) 東京都都市圏小規模パーソントリップ調査 (H5) テクニカルレポート

13) 環境庁温室効果ガス排出量算定方法検討会 (2000)・排出係数一覧

14) 運輸省運輸政策局 (1995) 運輸関係エネルギー要覧

15) 日本自動車会議所 (1998) 自動車輸送統計

16) 運輸省運輸政策局 (1995) 運輸関係エネルギー要覧と運輸統計年報 (1998) より推計

17) (財) 運輸経済研究センター (1994) 運輸部門からのCO₂排出量抑制調査報告書

18) 東京都窒素酸化物削減対策検討会 (1988) 東京都における窒素酸化物対策の推進について