

シンガポールおよびマレーシアにおける 浮遊粒子状物質 (SPM) の測定

中山 榮子・中島 利誠・佐藤 豊

Measurement of Suspended Particulate Matter (SPM) in Singapore and Malaysia

Eiko NAKAYAMA, Toshinari NAKAJIMA and Yutaka SATO

The result of SPM measurements in Singapore, Malacca and Kuala Lumpur on September 9-14, 2002 was reported and contour maps of the SPM concentration were made.

The results varied considerably from 'good' in the urban districts of Singapore to 'bad' in the places where overlapping traffic jams occurred in Kuala Lumpur. Other Asian countries including Japan are very interested in this research. Previously measurements were made in Shanghai and Hong Kong and now they have been made in Singapore and Malaysia. It is desirable to carry out measurements in some other Southeast Asian countries including the conditions and policies of each country.

Key words: SPM (浮遊粒子状物質), Singapore (シンガポール), Malaysia (マレーシア), air pollutant (大気汚染物質)

1. はじめに

日本国内では、浮遊粒子状物質 (Suspended Particulate Matter: SPM) による健康被害が問題になっており、尼崎や名古屋南部で起きた都市部大気汚染公害訴訟においては高濃度の一酸化窒素 (NO) や SPM と喘息などとの疾患の因果関係が認められている [1]。SPM は大気に浮遊する粒子状物質のうち粒径が $10 \mu\text{m}$ 以下の粒子の総称である [2]。その中で約48%が自動車 (ディーゼル) 排気ガスからの排気粒子 (Diesel Exhaust Particles: DEP) によって占められているという報告もあり [3]、このため東京都をはじめとして各自治体においてさまざまな

対策が採られ、検討されている [たとえば4]。今日まで街路付近の気流性状や SPM の拡散については種々の考察がなされているが [たとえば5]、沿線の住宅地域を含めた“生活空間”といった面で捉える研究はなされていないのが現状である。そこで、我々はできるだけ生活空間を考慮した面測定とそのシミュレーションを試みている [たとえば6]。

同時に、我々は生活環境の国際比較にも取り組んでおり、2001年3月に中国上海市内において [7]、2002年3月には香港において [8] SPM の簡易測定を実施した。本報告では2002年9月において実施したシンガポールとマレーシア (マラッカ、クアラ・ Lumpur) における SPM 測定結果を報告する。

表1 SPM 測定結果(1)

Date	Weather	Temp., °C	RH: %	Wind Direction	m/s	Time	Area	Measurement Point	$\mu\text{g}/\text{m}^3$						
2002.9.10	cloudy	25.0	85	C		8:42	Raffles Landing Site	Raffles Landing Site	26.25						
								川辺	16.75						
								船乗り場	17.00						
								8:50			16.50				
								8:58			62.00				
											22.00				
											28.00				
									SW	0-0.6		Merlion前(船上)	23.75		
											9:12		35.50		
											9:30	China Town	Sri Mariamman Temple	43.00	
													寺院内	92.25	
														43.00	
														33.50	
												10:00	Botanic Garden	紅ヤシ	38.50
														天然ゴムの木	26.75
														ヘリコニア	20.75
														Visitors Center	37.50
												10:50	市街地	海洋皮製品私人有限公司前	18.75
															23.50
												11:30		Anson Rd. X Palmer Rd.	29.60
												12:30		Middle Rd. X Pinsep St.	18.90
												13:00	展望台	駐車場	78.50
														展望台	21.25
												13:30	飲茶レストラン	入り口	36.50
												14:30		入り口	39.00
												15:25	市街地	DFS前	19.40
												15:40		DFS駐車場	22.00
															51.50
												16:45		道路沿い	25.00
															22.00
								25.0	83	C		16:00		Miramarホテル前車寄せ	36.00
												17:05	ホテル近隣	Miramarホテル前車寄せ	37.00
												17:25		Kim Seng Rd. G.C.W. ホテル前	22.00
		27.0	76	E	0.8	17:35		Zion Rd. X Havelock Rd.	21.25						
		28.0	75	NW	1.0	17:38		Riverviewホテル前	21.75						
						19:47	市街地	Bule Lobster 前	21.85						
				S	0.7	20:02		Bule Lobster 北岸Clarke Quay	25.45						
		25.6				20:15		Clarke Quay船着場	31.80						
						20:35		大丸角	23.15						
						21:00		River Valley Rd. X Clemenceau Ave.	18.50						
		28.8		N	1.0	21:12		Clemenceau Ave. X Singapore Rd.	20.75						
						21:20		Alakaff Quay	17.15						
						21:25		Havelock Rd.歩道橋上	22.00						
						21:37		Miramarホテル前車寄せ	25.50						
2002.9.11	rain	24.0	80			8:00		Miramarホテル前車寄せ	22.55						
								8:20		Miramarホテル前車寄せ	17.30				
								8:35	地下鉄(MRT)	EW16: Outram Park	26.30				
							little rain	24.5	83	C		8:55	EW13/NS25: City Hall B出口前	24.40	
							little rain	28.2	84			9:15	Court前	31.00	
												10:27	Environment Building 前	23.30	
								25.0	82			10:40	NS21: Newton B出口前	28.15	
												11:00	NS23: Somerset A出口前	33.00	
								27.0	69			11:40	EW29: Changi Airport Taxi乗り場	35.00	
								28.0	70			11:55	EW28: Expo プラットホーム上(地上駅)	33.00	
							cloudy	28.0	65			12:04	EW28: Expo 一階車返し緑地前	46.00	
										W		12:15	EW4: Tanah Merah 乗換駅ホーム	80.50	
								28.0	67			12:37	EW1: Pasir Ris 出口	17.50	
								28.0	65			12:45	EW1: Pasir Ris プラットホーム上	17.00	
								28.0	67			12:53	EW2: Tampines	24.00	
								27.0	67			13:06	EW5: Bedok	39.50	
												13:15	EW7: Eunos	29.50	
								27.0	70			13:22	EW9: Aljunied	28.50	

表1 SPM 測定結果(2)

Date	Weather	Temp.; °C	RH:%	Wind Direction	m/s	Time	Area	Measurement Point	μg/m ³	
2002.9.11	fine	28.0	69			13:27		EW10:Kallang 二階ホーム	70.50	
		28.0	67			13:40		EW12:Bugis B出口前	60.00	
		29.0	64			14:30		EW27:Boon Lay バス停前	30.00	
						14:34		EW28:Boon Lay 二階ホーム	22.50	
		28.0	64			14:40		EW25:Chinese Garden	18.00	
		28.0	68			14:48		EW23:Clementi	23.50	
		29.0	67			15:40		EW15:Tanjong Pagar A出口	22.50	
									21.50	
							15:49		EW18:Redhill 南側バスターミナル	20.75
							15:53			13.50
		28.9	72	S	1.9	16:15		NS27:Marina Bay	13.75	
						21:17		Miramarホテル前車寄せ	30.00	
		2002.9.12	fine	25.0	86			7:32	マレー鉄道駅	マレー鉄道シンガポール駅前
						8:40	シンガポール国境	Immigration前	45.75	
						14:30	Malacca (Melaka)	St. Paul's Church前	45.50	
						14:40	Stadthuys	St. Paul's Church上	39.00	
						14:50		St. Paul's Church下	61.50	
						15:00	China Town	Christ Church	36.00	
						15:05		Youth Museum前	43.00	
32.0	64					15:10		青雲亭(Cheng Hoong Teng Temple)	62.00	
26.0	83					18:42	Kuala Lumpur	Melia Kuala Lumpurホテル前	46.30	
29.0	68					20:15		スチームボード前	40.25	
28.0	65					20:25		KLタワー二階テラス	37.00	
28.0	72					21:10		China Town入り口	82.00	
						21:40		China Town出口	193.50	
30.0	77			21:47		China Town出口	257.50			
29.0	70			21:53		Melia Kuala Lumpurホテル前	40.50			
2002.9.13	fine	24.0	79	C		7:52	Bukit Bintang内	Melia Kuala Lumpurホテル前	88.00	
						7:57		Park Royal前	193.00	
						8:11		Jalan Jubi Chapel前	61.00	
		26.0	79			8:11		LTAT前	59.00	
						8:16		スターバックスコーヒー前	81.50	
						8:21		Jalan Bukit Bintang X Jalan Sultan Ismail	66.00	
						8:24		KL Monarail駅前	73.50	
		27.0	78			8:29		Plaza Low Yat前	63.50	
						8:31		Jalan Imbi X Jalan Pude	77.50	
						8:34		Jalan Bukit Bintang X Jalan Pude	110.00	
		25.0	80			9:20	市内	Istana Negara(王宮)前	68.50	
						9:30		Istana Negara(王宮)前ゲート	63.05	
						9:35		国立博物館前駐車場	67.50	
						9:36		国立博物館前 Jalan Damansara沿い	67.00	
						10:05		国立博物館前 出口	53.50	
		27.0	73			10:18		マスジッド・ヌガラ 入り口	72.50	
		29.0	76			10:45		マスジッド・ヌガラ 駐車場	40.00	
						11:20		歴史博物館前	46.50	
		28.0	51			11:25		歴史博物館二階	42.50	
						11:30		歴史博物館三階	43.75	
		28.0	72			11:37		ムルデカ・スクエア入り口	60.50	
						11:40		ムルデカ・スクエア時計塔前	49.00	
						13:00		インドネシア大使館前	33.50	
		27.0	66	C		14:45		KLCC(Petronas Twin Tower)前	34.25	
		28.6		NE	1.8	15:22		KLCC前車寄せ	27.50	
		30.6		ESE	1.2	15:32		KLCC駅前	23.00	
		34.0	64			15:40		KLCC Jalan Ampag角	27.25	
31.4		SW	2.5	15:48		Mandarin Orientalホテル前	24.75			
32.0				15:59		Jalan Sultan Ismail X Jalan P. Ramlee	38.75			
32.4		NW	1.0	16:10		マレーシア航空前	19.00			
32.0		NW	1.0	16:14		DFS前	16.75			
32.3	51	SW	0.2	16:22		イスタナ前	22.25			
32.7		NE	1.1	16:29		Lot10前	30.50			

2. 調 査

2. 1. 調査日程

2002年9月9日(月曜日)

18:05 日本航空 JL711 便にて成田空港発

23:55 シンガポール着

26:00 ホテル (Hotel Miramar) 着

2002年9月10日(火曜日)

08:00 シンガポール市内 SPM 測定

シンガポール・リバー沿い (Raffles Place から Marina Bay), スリーマリアマン寺院 (Sri Mariamman Temple), 植物園 (Botanic Garden), Clarke Quay 他

16:00 ホテル周辺にて SPM 測定

21:45 測定終了

2002年9月11日(水曜日)

08:00 終日シンガポール地下鉄 (MRT) に沿って SPM 測定

地下鉄東西線 (East West Line) 利用にて Pasir Ris および Changi Airport から Boon Lay まで

10:00 環境庁訪問

21:30 測定終了

2002年9月12日(木曜日)

08:00 マレー鉄道 (KTM) Ekspres Rakyat ER/2 にてシンガポール発

12:38 タンピン (Tampin) 着

14:00 マラッカ (Malacca) 着 市内 SPM 測定

ムルデカ広場 (Taman Meldeka), スタダイス (Stadthuys) セント・ポール寺院 (St. Paul's Church), 青雲亭 (Cheng Hoong Teng Temple)

18:30 クアラ・ルンプール ホテル (Melia Kuala Lumpur) 着 市内 SPM (China Town 付近) 測定

22:00 測定終了

2002年9月13日(金曜日)

07:45 ホテル周辺 (Bukit Bintang 地区) SPM 測定

09:00 クアラ・ルンプール市内 SPM 測定
独立広場 (Merdeka Square), 王

宮 (Istana Negara), 国立モスク (Masjid Negara), 国立博物館他

14:00 KLCC (Kuala Lumpur City Centre) から Golden Triangle にかけて SPM 測定

17:00 測定終了

23:00 日航 JL724 便にてクアラ・ルンプール発

2002年9月14日(土曜日)

06:45 成田着

2. 2. 調査参加者 (肩書きは当時)

生活機構研究科生活機構研究専攻

教授 中島利誠

生活機構研究科生活科学研究専攻

教授 佐藤 豊

生活科学部生活環境学科

助教授 中山榮子

2. 3. 調査場所

シンガポール市内 (77地点), マラッカ (6地点) およびクアラ・ルンプール (40地点) の合計123箇所において, SPM 測定を行った。シンガポールでは市街地における面測定だけでなく, 地下鉄東西線を利用して郊外地域へ赴き, 各駅前およびその周辺地域においても測定を行った。

マレー鉄道下車後の通過地点であるマラッカにおいては6地点しか測定できなかったが, クアラ・ルンプールにおいては市街地の面測定を行った。

各地の具体的な測定日時・場所に関しては, 測定結果の表に示す。

2. 4. 測定方法

今回の測定にはシバタ科学製作所のデジタル粉塵計 (Laser Dust Monitor) LD-1 と LD-3 K の二台を用い, 二分間の粉塵量をカウントし, SPM 濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) に換算した。また, この二台の機差はあらかじめ研究室で求めてあり, 結果の表は換算済みの値を示している。また, 風速の測定には Custom 社製 Thermo Anemometer CW-10 を, 温湿度の測定にはエー・アンド・デイ社のデジタル温湿度計 AD-5644 を用いた。

また, SPM 濃度分布を視覚的に把握するため,

早狩進氏作成コンターマップソフト Contour Map 97.xla ver.1.0〔9〕を用いて図化した。

3. 結果と考察

シンガポール市内（77地点）、マラッカ（6地点）およびクアラ・ Lumpur（40地点）の合計123箇所において、SPM測定を行った結果を、測定日時・場所・気象条件とともに表1に示した。また、その結果を可視的に把握するためコンターマップの作成を試みた。コンターマップは、シンガポール市街地（図1、2）、シンガポール地下鉄沿線（図3）およびクアラ・ Lumpur市街地（図4）の四つに分けて作成した。なお、マラッカはマレー鉄道下車後の通過地点であり、コンターマップを作成できるほど多くの測定値を得ることができなかった。

シンガポールにおいては、1975年よりロードプライシング制度が導入されている〔10〕。国土が狭いため道路の拡張には限界があり（既に国土の12%が道路である）、特に都市部の交通混雑緩和のため、入域許可証制度（ALS）が採用されている。また、1995年からは、三大高速道路において道路通行料制度（RPS）を導入し1998年からはそれを自動徴収（ERP）するシステムに移行した。この制度のおかげで都市部を通行する自動車が実質的に制限され、自動車を原因とする大気汚染拡大を抑制する大きな要因となっていると考えられる。

シンガポールにおいては常時測定を17箇所で行っており、2001年度の結果をみるとPSI（Pollutant Standards Index）で約83%が良好（0-50: good）、17%が普通（51-100: moderate）といった結果を得ている〔11〕。なお、シンガポールの環境基準はPM₁₀年平均が50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下、24時間で150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下である。今回の測定においてこの50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下という基準値を超えたのは、77地点中4箇所のみであった。測定中ガソリン臭を感じてやや不快な思いをしたのはMRTの地上駅EW10: Kallang 駅二階ホームのみであった。市街地でやや濃度が高い地点があったもののコンターマップ上には高濃度の等濃度線は現れてきていない。

シンガポールでは、1992年にヨーロッパ会議と環境閣僚理事会が定めた自動車排ガス規制（Euro1）を導入し、2001年にはより規制の厳しいEuro2に対応させている。Euroシリーズとは、1992年以降

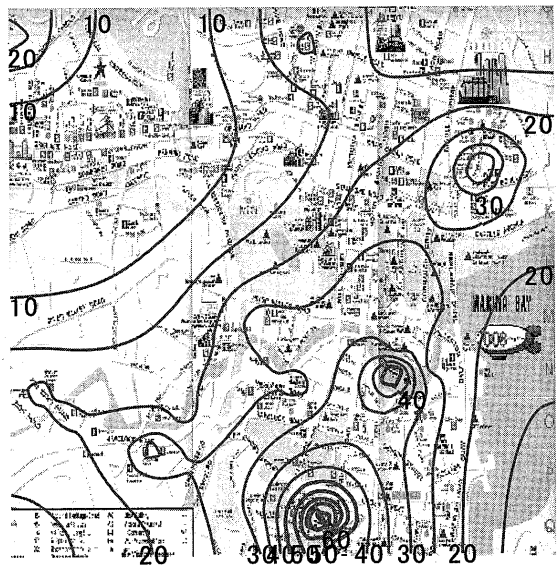


図1 コンターマップ: シンガポール市街地

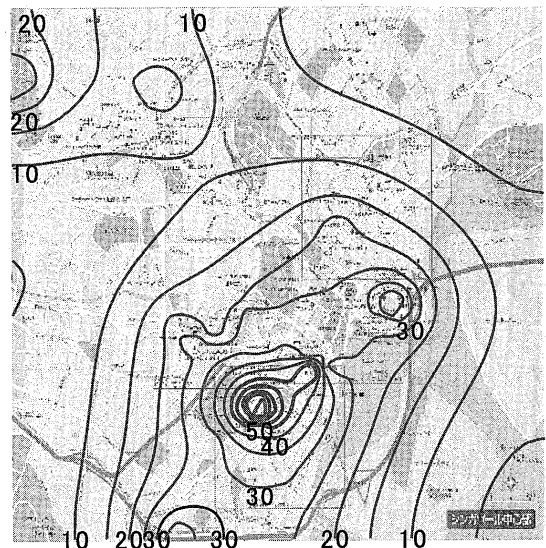


図2 コンターマップ: シンガポール市街地全域*

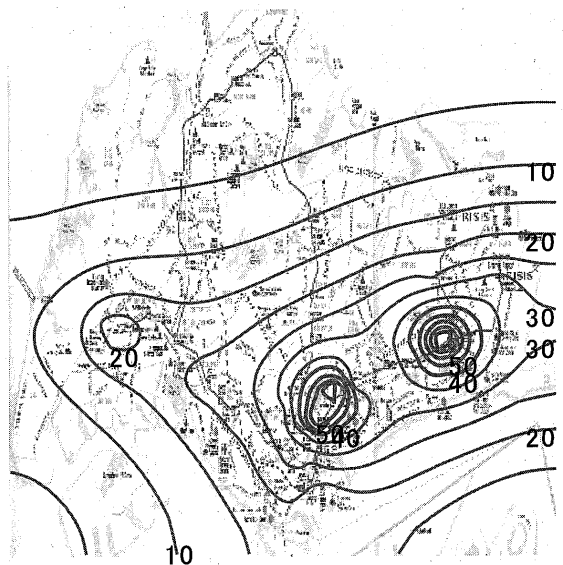


図3 コンターマップ: シンガポール地下鉄沿線

ディーゼル車の排気ガス中のPM（あるいはHC：炭化水素＝燃え残った燃料成分）とNO_xの排出量の規制である。2008年にはEuro5というディーゼル車ガソリン車共通の規制になる予定である〔12〕。そのほか、シンガポールでは車検の義務付け、ディーゼル車整備の認可制度、無鉛ガソリンや低硫黄ディーゼル規制の導入などを行っている〔13〕。

一方マレーシアにおいては、空気の“質”の違いを体感した。マレー鉄道でシンガポール駅を離れ国境を越えると、清澄な空気から混沌とした環境の中に放り込まれたような感じがした。大気汚染物質だけでなく香料や土や家畜や植物などの臭いが渾然一体化した感じであった。

SPM濃度に関しては、表2に示すような排出基準が設けられている。またシンガポールと同様にEuroシリーズにも取り組んでおり、1996年にEuro1を、2000年にEuro2を導入し、2003年にEuro3導入を調整中であった。また、車検制度を商用車以外にも拡大し、天然ガス自動車を奨励し、といった取り組みもなされている〔13〕。クアラ・ Lumpur市内を走行するクルマの90%はガソリン車であるという報告もあるが（1999年）、実際に市内を測定して回ると、測定できたSPM濃度値以上に大気の汚染を感じた。ひとつにはガソリンが安いこと、それに対して車の値段が高いため中古車（それも日本だと廃車になるような車）が大変多く走っていたこと、自家用車には車検がないこと、市内ではかなり渋滞が激しいことなどが原因として考えられよう。

表2 マレーシア大気汚染物質目標濃度

観測期間	目標濃度 (μg/m ³)	地域
1年間	40	非工業
	80	工業
24時間	50	非工業
	100	工業
30分	100	非工業
	200	工業

DOE Environmental Quality Report. 1988

測定値をみても、50μg/m³を超えた測定地点は46地点中マラッカ2地点クアラ・Lumpur20地点とほぼ半数であった。渋滞の激しかったチャイナタウン出口付近では、排出されたガスがそのまま漂っている感じで257.5μg/m³という驚異的な値を示した。（国道246号線に首都高速3号線が高架で走っている本学前のバス停での測定値が約100μg/m³である。）コンター

マップはシンガポールと同じ間隔で等濃度線を描くことができず、シンガポールでは5μg/m³毎に対してクアラ・Lumpurでは10μg/m³毎で表した。なお、クアラ・Lumpurでは市の北西部の測定ができなかったことが心残りである。

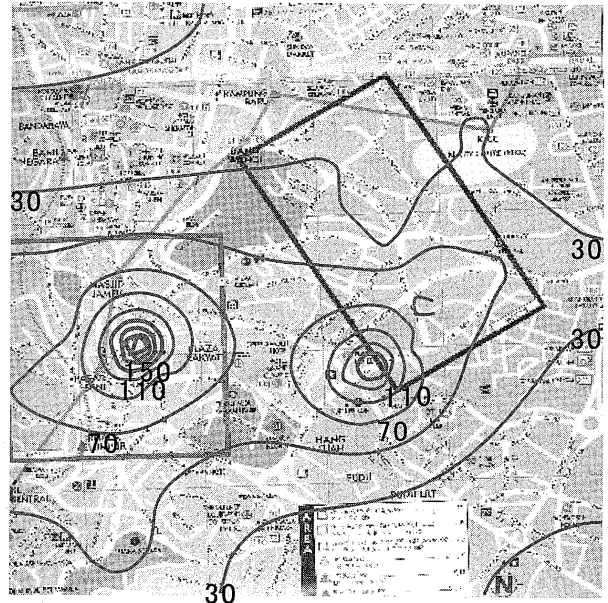


図4 コンターマップ: クアラ・Lumpur市街地

4. ま と め

2002年9月9日から14日まで行ったシンガポール、マラッカおよびクアラ・LumpurにおけるSPM測定調査結果を報告した。シンガポールにおいてはSPM濃度のコンターマップを三種作成し、濃度分布を可視的に把握したところ、シンガポール市街地においてはかなり良好な大気環境であることが明らかになった。一方マレーシアでは、マラッカおよびクアラ・LumpurにおいてSPMを測定し、クアラ・Lumpurにおけるコンターマップを作成した。特に市街地の交通渋滞が重なったところでは大変高い値を示し、シンガポールと同様にEuro2を導入しているとは思えなかった。

近年アジア各国においても日本と同様、特に都市環境における大気汚染に対する関心が高まってきている。2002年には自動車排出ガス対策国際フォーラムが実施され、各都市の汚染状況などが報告された（表3）〔13〕。我々が測定した上海、香港、シンガポールは含まれていないが、測定した当時の状況では、上海も香港もかなりの高濃度であった。今後、各地での測定を続け、その実態および各国の政策などについて考察を広げていきたいと考えている。

表3 アジア主要都市の都市環境

国	都市	総浮遊粒子状物質 TSP	二酸化硫黄 SO ₂	一酸化炭素 CO	二酸化窒素 NO ₂	オゾン O ₃	鉛 Pb
日本	東京	B	A	A	B	B	A
中国	北京	E	D	D	D	C	B
韓国	ソウル	B	B	A	C	B	A
台湾	台北	D	B	B	B	B	B
タイ	バンコク	E	B	B	B	B	C
マレーシア	クアラ・ Lumpur	B	B	C	C	C	C
インドネシア	ジャカルタ	D	C	C	B	C	C
フィリピン	マニラ	D	B	D	D	D	C

各物質の大気中濃度が WHO の基準に比べて

- A 半分以下
- B 基準内
- C 基準値の二倍以内
- D 基準値の三倍以内
- E 基準値の三倍以上

1999年から2001年アンケート調査
Clean Air Asia のデータより作表

謝 辞

シンガポールでは環境庁 Environment Building を訪問し、説明を伺い資料をいただいた。親切に対応いただいた担当者に感謝する。

なお、本報告の調査は本学の海外研修補助金の援助を得た。

参考文献

1. 環境科学ニュースより
<http://www.mainichi.co.jp/eye/feature/details/science/index.html>
2. 環境省編：平成15年度版環境白書（2003）
3. 東京都浮遊粒子状物質削減対策検討委員会報告（1996）
4. 東京都環境保護条例
http://www2.kankyo.metro.tokyo.jp/diesel_search/contents/search/index.html
5. 清田誠良他：日本建築学会計画系論文集，512，61-66（1998）
6. 中山榮子他：日本女性科学者の会年報，2，55-60（2001）
7. 中山榮子他：昭和女子大学紀要「学苑」，733，90-96（2001）
8. 中山榮子他：昭和女子大学紀要「学苑」，744，110-120（2002）

9. エクセル工房：

<http://www.jomon.ne.jp/~hayakari/index.htm>

10. ロードプライシング海外事例（シンガポール）：

<http://www2.kankyo.metro.tokyo.jp/jidousya/roadpricing/singapore1.htm>

11. Ministry of the Environment, Singapore: Pollution Control Report (2001)

12. クルマ・エコ・レポート：

http://www.cosmo-shopping.com/car/Ncd/morozumi_c/back_no/17/index02.html

13. Clean Air Asia:

http://www.clean-air-asia.com/forum2002_i/asia_i.html

* 図2の地図は「地球の歩き方⑨シンガポール 2002～2003年版」((株)ダイヤモンド・ビッグ社)より引用

(なかやま えいこ 生活環境学科)

(なかじま としなり 生活環境学科)

(さとう ゆたか 生活環境学科)