

# 自動車排出ガス計測における走行モード

－ガソリン・LPG 乗用車を例として－

Driving Modes in Automobile Exhaust Gas Measurement

－ For Gasoline and LPG Passenger Cars －

森川 多津子\*1

Tazuko MORIKAWA

## 1. はじめに

わが国に自動車は急速に普及しはじめた1960年代は、自動車排出ガスに起因する大気汚染への対策も急務であった時代である。自動車排出ガスの規制は1966年に開始され、1968年の大気汚染防止法の施行により、国土交通省の道路運送車両の保安基準<sup>1)</sup>(以下、保安基準)に基づいて規制されるようになった<sup>2)</sup>。それ以来、自動車排出ガス規制は、わが国の都市大気環境の改善に欠かせない役割を果たしてきたと言える。

自動車排出ガス規制では、走行距離当たりの大気汚染物質の排出量が規定されているが、自動車から排出される大気汚染物質の排出量は自動車の走り方、走行のパターン(走行モード)で大きく変わる。そのため自動車排出ガスを計測する際の走行モードは規制値同様、厳密に定義しておく必要がある。本稿ではガソリン・LPGを燃料とする乗用車に焦点を絞り、自動車排出ガスの規制値と規制値を測定する走行モードである試験モードの推移、実環境における自動車排出ガス量を求める走行モードである実走行モード、今後の自動車排出ガス量の推計のための新たな計測手法の活用について解説する。

## 2. 自動車排出ガス規制値と試験モード

### 2.1 対象となる大気汚染物質

現在の大气汚染防止法の規制対象は、ばい煙・揮発性有機化合物・粉じん・水銀・有害大気汚染物質・自動車排出ガスの6種類であるが、施行当初はばい煙と自動車排出ガスが対象であった。自動車排出ガス規制で対象となる大気汚染物質は、大気環境基準

が定められている物質とは必ずしも同一ではない。表1に自動車排出ガス規制の大気汚染物質と、対応する大気環境基準の物質を示す。

表1 自動車排出ガス規制で定める大気汚染物質と対応する大気環境基準の物質

排出ガス規制で定められている物質	大気環境基準の物質
一酸化炭素(CO)	同左
窒素酸化物(NOx)	二酸化窒素(NO <sub>2</sub> )
非メタン炭化水素(NMHC (2005年新長期規制開始以前は全炭化水素(THC))	大気環境基準はないが光化学オキシダント生成防止のための指針値が定められている
粒子状物質 (PM)および黒煙	浮遊粒子状物質(SPM) 微小粒子状物質(PM <sub>2.5</sub> )

ここで窒素酸化物(NOx)は一酸化窒素(NO)と二酸化窒素(NO<sub>2</sub>)の合計である。自動車のみならず、固定発生源を含む他の発生源にも共通して言えることであるが、大気環境基準がNO<sub>2</sub>であるのに対し、排出ガスはNOも含まれるようNOxとして規制されている。これは、主に大気中に存在するオゾン(O<sub>3</sub>)により、NOが数秒～数分以内という比較的短時間のうちに酸化されて呼吸器に影響のあるNO<sub>2</sub>になるためである。NOxの重量換算は全量をNO<sub>2</sub>として計算する<sup>1)</sup>。

粒子状物質(PM)は大気環境では粒径によって基準が設けられているのに対し、排出ガスでは粒径の区分は設けられていない。ちなみに自動車排出ガス中のPMは粒径が0.1~0.3 μm程度である<sup>3)</sup>。

大気環境基準で定められており自動車排出ガス規制にはない物質として二酸化硫黄(SO<sub>2</sub>)と光化学オキシダントがあるが、SO<sub>2</sub>は燃料中の硫黄分に起

\*1 一般財団法人日本自動車研究所 エネルギー・環境研究部 博士 (工学)

因するものであり、また、光化学オキシダントは大気中の化学反応で生成し、発生源から排出されるものではないため、それぞれ設定されていない。

## 2.2 自動車排出ガス規制の推移

自動車排出ガス規制値は保安基準にて、試験前の車両条件、車両の運転方法、排出ガスサンプリング手法や分析機器の要件に至るまで詳細に定められている。排出ガスはシャシダイナモメータとよばれる設備で計測するが、その内容や規定は保安基準の第31条や他の解説に譲る<sup>4)</sup>。

自動車排出ガス規制が開始されてから現在までのガソリンおよびLPG乗用車の規制値を表2に示す。自動車排出ガス規制値は1966年の開始当初は排出ガス濃度で規定されていたが、規制が本格的に実施されるようになった1973年から単位走行距離あたりの排出量で規定されるようになった。排出ガスを計測する際の車両の運行方法である試験モードの

詳細は次節で述べるが、試験モードの始動方法もエンジンが暖機された暖機始動(ホットスタート)だけの設定から、1975年以降、エンジンが冷えている冷機状態で始動する冷機始動(コールドスタート)の試験モードが加えられた。これは排出ガスを浄化する三元触媒が冷えた状態では浄化性能が悪く、大気汚染物質が多量に排出されるためである。2005年の新長期規制からは暖機始動と冷機始動のそれぞれの始動方法での排出量に係数をかけて合算した値で規制するコンバイン方式がとられてきた。新長期規制導入時には炭化水素(HC)の規制が全炭化水素(THC)から非メタン炭化水素(NMHC)になるなどの変更もあった。2018年に開始した現行の平成30年規制はすべて冷機始動での試験となっている。

試験モードは排出ガス規制値と共に定められているため、表2中の<sup>注1)</sup>および<sup>注2)</sup>に記した、1991年の10モードから10・15モードへの変更、2008年および2011年の10・15モードおよび11モードから

表2 ガソリン・LPG乗用車の排出ガス規制の流れ<sup>5),6)</sup>

規制年(規制名)	試験モード *1	備考	CO	HC	NOx	PM
1966(昭和41年)	4モード(%)	濃度規制	3	-	-	-
1969(昭和44年)	4モード(%)	濃度規制	2.5	-	-	-
1973(昭和48年)	10モード(g/km)	ガソリン LPG	26	3.8	3	-
			18	3.2	3	-
1975(昭和50年)	10モード(g/km)		2.7	0.39	1.6	-
	11モード(g/test)		85	9.5	11	-
1976(昭和51年)	10モード(g/km)	等価慣性重量	2.7	0.39	0.84	-
	11モード(g/test)	1000kg以下	85	9.5	8	-
	10モード(g/km)	等価慣性重量	2.7	0.39	1.2	-
	11モード(g/test)	1000kg超	85	9.5	9	-
1978(昭和53年)	10モード(g/km) → 10・15モード(g/km) <sup>注1)</sup>		2.7	0.39	0.48	-
	11モード(g/test)		85	9.5	6	-
2000 (平成12年, 新短期規制)	10・15モード(g/km)		1.27 (0.67)	0.17 (0.08)	0.17 (0.08)	-
	11モード(g/test)		31.1 (19.0)	4.42 (2.20)	2.50 (1.40)	-
規制年	試験モード		CO	NMHC	NOx	PM
2005 (平成17年, 新長期規制)	10・15 & 11モード → JC08モード(g/km) <sup>注2)</sup>		1.92 (1.15)	0.08 (0.05)	0.08 (0.05)	-
2009 (平成21年, ポスト新長期規制)	JC08モード(g/km)	リーンバーン直噴車	1.92 (1.15)	0.08 (0.05)	0.08 (0.05)	0.007 (0.005)
2018 (平成30年)	WLTCモード(g/km)	ストイキ直噴車	2.03 (1.15)	0.16 (0.10)	0.08 (0.05)	0.007 (0.005)

は冷機始動, は冷機始動と暖機始動の結果を合わせたコンバイン方式

( )は型式指定車及び装置指定車の基準値(認証基準)

<sup>注1)</sup> 1991年10月より10・15モード

<sup>注2)</sup> 2005年10月より10・15モード×0.88+11モード×0.12

2008年10月より10・15モード×0.75+冷機始動JC08モード×0.25

2011年10月より暖機始動JC08モード×0.75 + 冷機始動JC08モード×0.25

JC08 モードへの変更は、実質的な規制強化となっている。

### 2.3 規制値のための試験モード

自動車からの大気汚染物質の排出量はエンジン負荷により変化するため、アイドリング、加速、定速走行、減速といった運行状況でまったく異なるものとなる。そのため一連の走行モード中でのそれらの運行状況や比率を厳密に定める必要があった。これが規制値のための試験モードである。図1~6にこれまで自動車排出ガス規制に用いられてきた試験モードを掲載する。それぞれの試験モードには適用されていた時期も記載した。それによると図1の4モードは名称の通り、アイドリング・加速・定速・減速の4つの単純なモードで成り立っているが、その後、試験時間も徐々に長く複雑化し、より実際の

走行パターンに近いものになっていることがわ

かる。現行規制のWLTCモードは、国連の自動車基準調和世界フォーラム(WP29)にて成立した「乗用車等の国際調和排出ガス・燃費試験法(WLTP, Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure)」の、世界における典型的な走行条件を代表する軽量車の走行パターンとして策定されたものである。本来のWLTCモードは、低速・中速・高

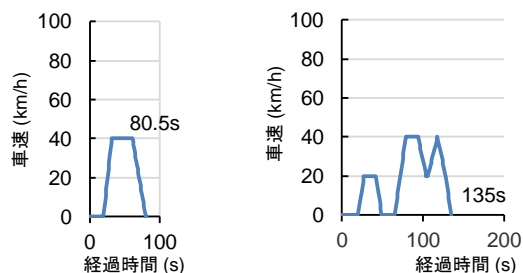


図1 左図：4モード (暖機始動, ~1973.03)

図2 右図：10モード (暖機始動, 1973.04~1991.03)

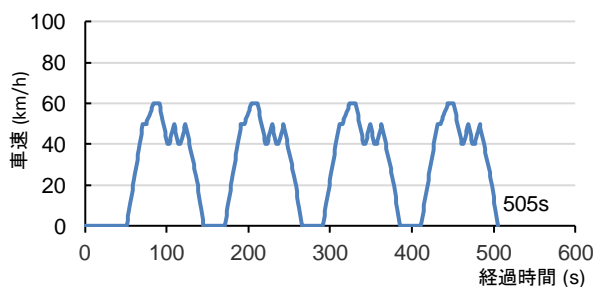


図3 11モード (冷機始動, 1975.04~2008.09)

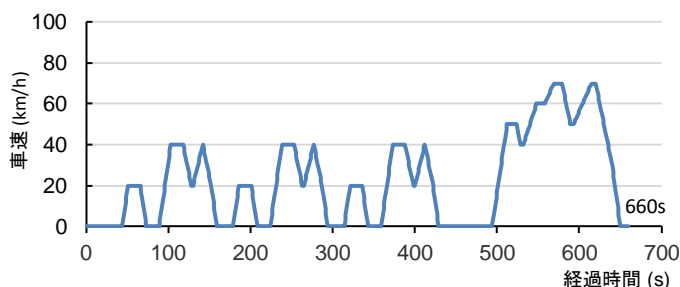


図4 10・15モード (暖機始動, 1991.10~2011.09)

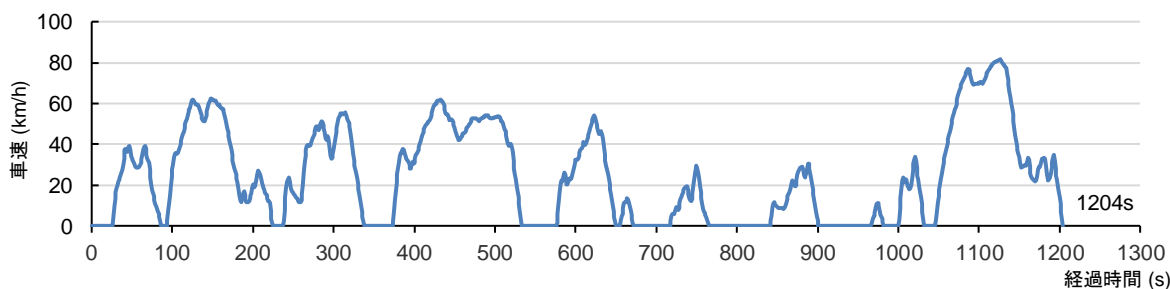


図5 JC08モード (冷機および暖機始動の結果を組合せて使用(コンバイン方式), 2008.10~2018.09)

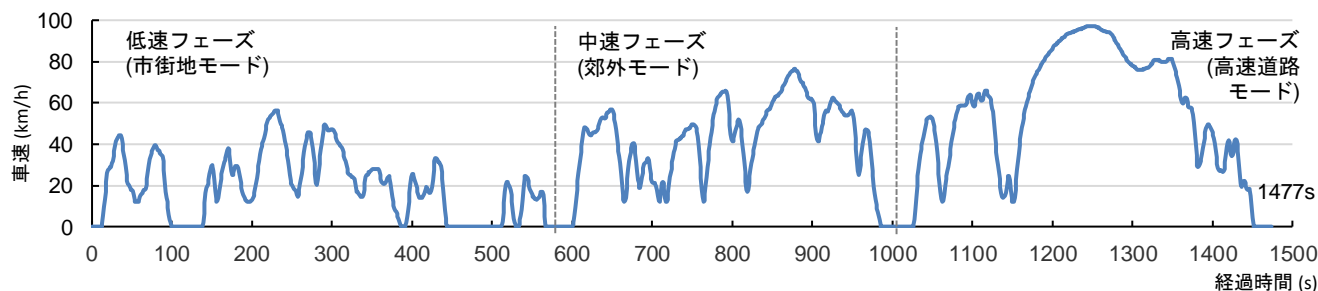


図6 WLTCモード (冷機始動, 2018.10~)

速・超高速の4フェーズからなるが、わが国における走行実態を鑑み、車両の速度-加速度分布に乖離のある最後段の超高速フェーズは採用していない。なお、WLTCはWorldwide harmonized Light duty driving Test Cycleの略で、英語の"Test Cycle"は「試験モード」に相当するが、ここでは保安基準に準じてWLTCモードと表記した。

### 3. 実走行モードと自動車排出ガス原単位

#### 3.1 実走行モード

規制値のための試験モードが実際の車両の運転状況とかけ離れており、都市大気環境への影響を把握するには無理があることは、比較的早い段階から知られていた。そのため、実環境における自動車からの大気汚染物質の排出量を算出するには、自動車の安全・環境基準の認証プロセスとは別の流れとして、実際の車両の走行状態を再現した「実走行モード」を構築し、排出ガスの計測をする必要があった。

東京都公害研究所(現：東京都環境科学研究所)では1970年代初頭から都内の走行状況についての調査を行っており、1977年には現在使用されている東京都の平均車速別のNo.1~11の実走行モードがほぼ出来上がっていた(東京都モード)<sup>7)</sup>。No.1~10が一般道、No.11が高速道に対応し、いずれも走行デ

ータから代表的と思われるデータをそのまま抜き出して作成している。No.1~10の一般道での平均車速は4.53~46.39 km/hの範囲内で、平均車速が高いNo.9~10は深夜の環状7号線における走行データに基づいている。

日本自動車研究所(JARI)でも1996年に実走行モードを作成している(JARIモード)<sup>8)</sup>。東京都モードとは異なり、東京都内の実走行データの調査で得られた加速度-速度分布や、定速走行時の速度分布、発進から停止までのショートトリップ<sup>注3)</sup>区間の特徴などを踏まえて走行モードを構築したものである。軽・重量車別、細街路・一般道路・高速道路別となっており、軽量車の一般道路の実走行モードは平均車速別に5種類構築されている。

他に道路環境影響評価に用いる目的で作成された土木研究所モード(土研モード)がある<sup>9)</sup>。土研モードはJARIモード作成の手法を踏襲しているが、ベースとなった実走行データは関東・中部・近畿の国道から広く得た点に特徴がある。軽量車・重量車別、一般道路・停止ありの自動車専用道路・停止なしの自動車専用道路種別となっており、軽量車の一般道路の実走行モードは平均車速別に6種類である。

これらの3種類の実走行モードから、平均車速が14 km/h前後および44 km/h前後の例を図7に示す。

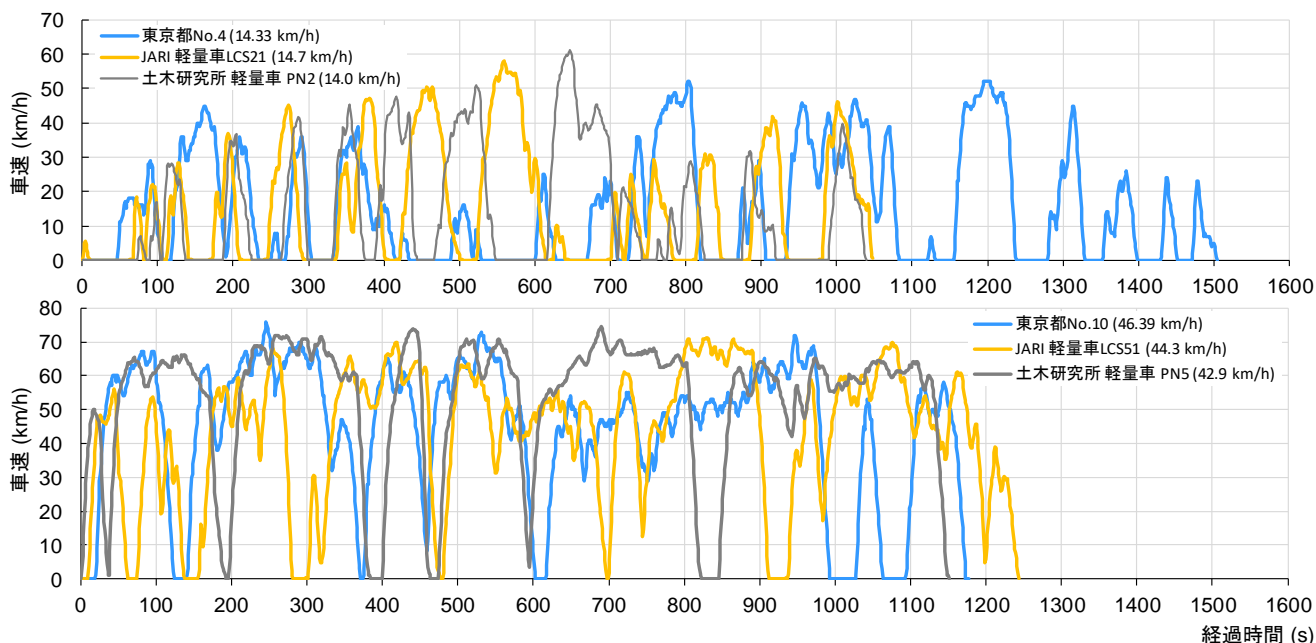


図7 東京都, JARI, 土木研究所の実走行モード比較例  
(上図: 平均車速14 km/h 前後の走行パターン, 下図: 平均車速44 km/h 前後の走行パターン)

注3) ショートトリップ: 発進から停止までの走行。信号間の短い走行や、渋滞での短い発進停止のサイクルもこれにあたる。

図7によると3種類の実走行モードの違いは見た目では判別できない。それらの実走行モードの細かな差異については、土研モード作成時に、実走行の調査データとの比較調査で確認されている。それによると、東京都モードは一般道路でのアイドル時間比率が低く、JARIモードおよび土研モードは、停止のある高速道路モードにおいて、それぞれ低速時間比率が若干低く、加速・定速などの時間比率が違う例があるなどが確認されている。しかし、それらは問題になるほどの大きな差異ではないとされている<sup>9)</sup>。

### 3.2 自動車排出ガス原単位

環境省では毎年、国内の研究機関や自治体、独自で実施した実走行モードの計測結果を収集し、規制年別・大気汚染物質別に燃料別・車種別・車両総重量別の自動車排出ガス原単位を作成している<sup>10)</sup>。自動車排出ガス原単位は、全国や自動車NO<sub>x</sub>・PM法対象地域などにおける自動車から排出される大気汚染物質の総量を推計するために用いられるものである。

使用されている実走行モードの種類は定められていないが、図7で示した3種類が主なものである。最近では実走行モードのデータ以外にも、JC08モードの値(平均車速24.4 km/h)や、WLTCモード試験結果を低速フェーズ(同18.9 km/h)・中速フェーズ(同39.5 km/h)に分解したのも、実際の走行状態を反映しているものとして用いられている。得られた実走行モード結果は、平均車速V (km/h, 旅行速度)を説明変数、単位走行距離あたりの排出率EF (g/km, 重量車の場合は重量を考慮し重量あたりでg/km/tと表す)を従属変数として下記の関数式のパラメータa, b, c, dを重回帰分析により求めて作成している。

$$EF = a + b/V + c \cdot V + d \cdot V^2$$

ガソリン乗用車の自動車排出ガス原単位からのCO, HC(THCで統一), NO<sub>x</sub>の例を図8に示す。物質によりEFの形状が異なること、また規制が強化される毎に排出量が大きく下がっていることが確認できる。

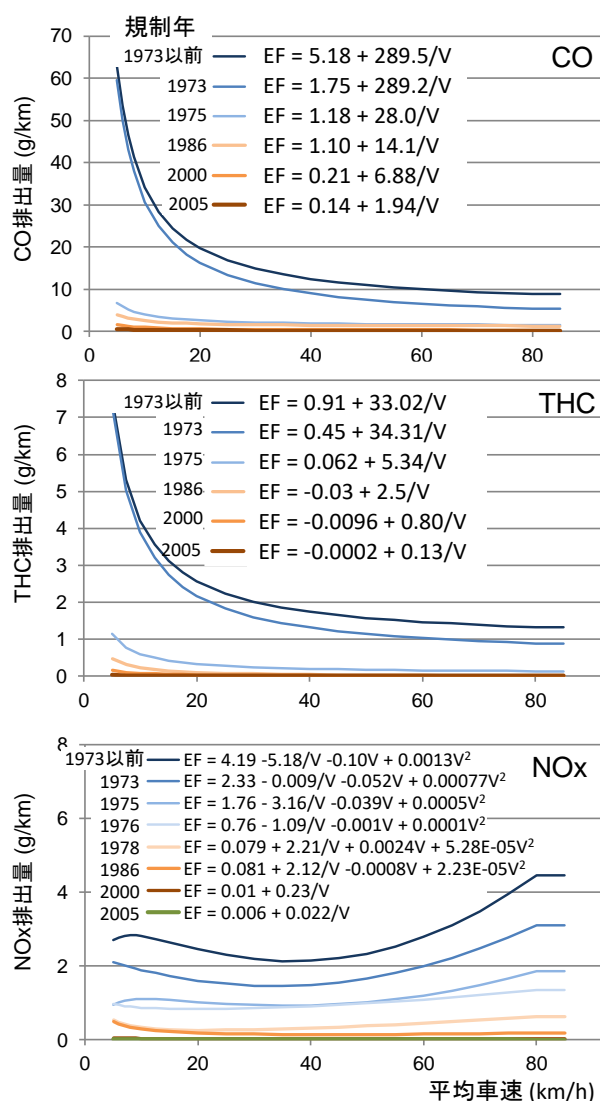


図8 自動車排出原単位の例 (ガソリン・LPG乗用車)

### 4. RDE試験と自動車排出ガス量の把握

より実態に近い走行状況を再現したいというニーズ、特に試験モードで得られる燃費(カタログ燃費)と実走行燃費の乖離の解消、排出ガス規制に関する不正防止の観点<sup>11)</sup>から、実路を走行中の車両の排出ガス濃度を直接計測する路上走行試験(RDE, Real Driving Emission)による規制の検討がわが国でも議論されている。欧州ではすでに2017年9月より、RDE試験法で得られたデータをWLTCモードの基準値と比較可能な測定値に換算し、評価をおこなっている。

RDE試験では、実路におけるあらゆる環境要因を反映した排出ガス濃度の計測ができるため、規制という観点だけではなく、排出ガスの計測結果に影響

を及ぼす環境要因の検討も可能となる。著者らは RDE試験結果から、車両の瞬時の速度・駆動力と排出量データを整理し、任意の走行モードにおける排出量を推計する手法を構築した<sup>12)</sup>。その手法は、瞬時瞬時の運転状態における排出量を算出するために開発された速度-駆動力排出マップ<sup>13)</sup>を利用する方法である。

図9に速度-駆動力排出マップの例を示す。この例では1秒毎の車速、駆動力、NOx排出量 g/sを、車速を2 km/h刻み、駆動力は200 N刻みで平均化・補間して作成している。

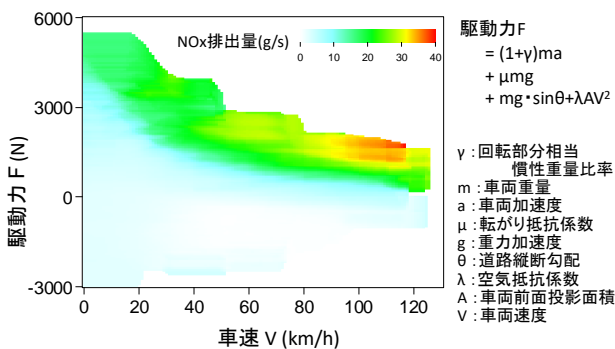


図9 速度-駆動力排出マップの例

著者らは、任意の走行モードの速度・駆動力の時系列データを速度-駆動力排出マップに当てはめることにより、その走行モードでの試験結果に相当する排出量を算出することを可能にした。図10にその手順を示す。それにより排出ガス原単位そのものや、外気温の影響を排出量に反映するための温度補正係数などの作成に適用することが可能となった。この手法は拡張性が高く、今後、RDE試験の広がりにつれて、より実態を反映した排出量の推計につなげることができると考えられる。

## 5. おわりに

大気環境の改善を目指して、排出ガスを規制する側も、大気中への排出量を算出する側も、共に実環境における排出実態を考慮した走行モードや試験法の検討を重ねてきた。本稿ではその一部を紹介してきたが、PM<sub>2.5</sub>や光化学オキシダント、温室効果ガスに関連する短寿命気候汚染物質など自動車排

任意の走行モードを選択 → 車速と試験時車両重量から駆動力を算出 → 速度-駆動力排出マップから排出ガスを算出

JARI実走行モード  
平均車速14.4k/h

時間 (s)	車速 (km/h)	駆動力 (N/s)	排出ガス (g/s)
0	0.0	481	0.020
1	0.8	1204	0.036
2	3.1	1404	0.041
3	5.0	774	0.025
4	5.4	-74	0.018
5	4.4	-467	0.041
6	3.2	-442	0.042
7	2.2	-360	0.043
8	1.3	-266	0.043
9	0.6	-112	0.019
10	0.2	29	0.021
11	0.0	147	0.019
12	0.0	193	0.018
⋮	⋮	⋮	⋮

図10 速度-駆動力排出マップから実走行モード相当の排出量を推計する手順の例

出ガスが関わる大気汚染課題はまだ残されている。気温などの環境要因による影響や、排気後処理装置およびエンジン本体の劣化に伴う排出量増加など、より実際に近い排出状況を把握するため、今後も排出ガス計測手法の検討は続けられていくと考えられる。

## 参考文献

- 1) 国土交通省：道路運送車両の保安基準，  
[http://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha\\_fr7\\_000007.html](http://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_fr7_000007.html) (2019.5)
- 2) 環境庁：昭和44年版公害白書，  
<http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/s44/index.html> (2019.5)
- 3) Kittelson, D. B. (1998), Engines and nanoparticles: a review, Journal of Aerosol Science, Vol. 29, pp. 575-588
- 4) 公益財団法人日本自動車輸送技術協会：技術解説－シャシダイナモメータによる車両評価  
[http://www.ataj.or.jp/technology/chdy\\_technology.html](http://www.ataj.or.jp/technology/chdy_technology.html) (2019.5)
- 5) 国土交通省：新車に対する排出ガス規制について，  
<http://www.mlit.go.jp/common/001191370.pdf> (2019.5)
- 6) 環境庁：昭和45年版公害白書，  
<http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/s45/index.html> (2019.5)
- 7) 東京都公害研究所：自動車排出ガスに関する調査研究，公害研究所資料，1-4-18 (1977)

- 
- 8) 平井洋ほか：排出係数測定用の実走行モードの作成方法について，自動車研究，第 18 巻，第 12 号 (1996)
  - 9) 国土交通省 国土技術政策総合研究所：自動車排出係数の算定根拠，国土技術政策総合研究所資料，No.141 (2003)
  - 10) 株式会社 数理計画：平成 30 年度 自動車排出ガス原単位及び総量算定検討調査 (2019)
  - 11) 国土交通省：排出ガス不正事案を受けたディーゼル乗用車等検査方法見直し検討会 最終取りまとめ：  
<http://www.mlit.go.jp/common/001182444.pdf> (2019.5)
  - 12) 富田幸佳，森川多津子：実路走行時の排出ガス試験値を用いた自動車 NO<sub>x</sub> 排出量算定のための温度補正係数作成手法，JARI Research Journal，20180701 (2018)
  - 13) 林誠司：過渡排出量推計モデル+走行風による初期拡散モデル構築，JCAP 技術報告 PEC-2004AQ-03，一般財団法人石油産業活性化センター，(2005)