

自動車公害の歴史認識と環境政策に関する研究

坂 井 宏 光

はじめに

世界経済金融危機が2008年9月に始まり、2009年1月にアメリカではオバマ新政権の下でグリーン・ニューディール（緑の内需拡大）政策による経済振興策が出された。特に、自動車産業における環境対応とクリーンエネルギー開発への大規模投資が促進されている。世界の自動車産業は経済発展の牽引となり、各国は国力を誇示するように自動車生産活動を競い合ってきた。19世紀の産業革命は鉄道の発展で加速したが、20世紀に自動車産業が急速に発展する時代になり、様々な環境問題を抱える大量消費型のクルマ社会になった¹⁾。日本を含むアジア地域で激化するクルマ依存社会の中で、排気ガスによる大気汚染や騒音などの公害で健康被害が拡大して、その対応に追われてきた²⁾。そして、現在、持続可能な社会を目標とするため、低公害車や低燃費車から無公害車の開発が至上命題となった。

自動車の開発の歴史は、まず1839年に電気自動車が開発されたがほとんど普及しなかった。そして、1885年に独人、カール・ベンツが世界で初めて実用的な三輪のガソリン自動車を設計・製作し、翌年に、ゴードリッパ・ダイムラーが優れた内燃機関を開発し、四輪自動車を発明したとされている³⁾。さらに、1899年にフェルナンド・ポルシェが先進的なハイブリッド車を発明して以来、ガソリン自動車と競合的に発展してきた。現在、世界中でおよそ7億4,000万台以上のガソリン自動車を利用され、交通の利便性を拡大し、車社会の発展に大

きく貢献してきた。その一方で、モータリゼーションを激化させ、都市部での大気汚染、騒音、振動などの公害問題を深刻化させてきた。また、化石燃料である石油の枯渇に拍車をかけ、資源エネルギー問題の解決が困難になっている。そこで、各国は自動車産業を基幹産業と位置づけ、その成長がもたらすエネルギー供給不安や公害・環境問題などのマイナス要素の根本的な解決策として、汚染物質を出さないクリーンな自動車の生産・普及などを模索している。

日本国内では、自動車排気ガスなどによる道路公害が大都市圏周辺を中心に全国で拡大してきた。そして、1970年代から自動車排気ガスに由来する健康被害が発生し、被害者救済と排ガス差し止めを求めて大気汚染訴訟が各地で起きた。さらに、2007年4月26日に北九州市で10年ぶりに光化学オキシダント濃度が0.12ppmを超え、光化学スモッグ注意報が発令された。中国や韓国からの越境大気汚染と地域の工場や自動車排気ガス汚染が相加的に環境影響して、毎年、光化学スモッグ注意報が日本各地で頻発するようになった。アジア地域全体や地球規模での大気汚染対策の連携が必要な時代になっている。

本論文では自動車による道路公害の歴史的経過を研究し、現代の環境対策のあり方を検討した。特に、ここでは自動車産業と環境問題の繋がりを歴史認識に基づく科学的な検証を行った。また、本論では環境汚染問題解決のための環境科学的方法論から自動車の技術的・制度的課題などの一考察を行い、持続可能な低炭素社会の将来展望を試みた。

1. 自動車公害と大気汚染の歴史認識

自動車排気ガスによる環境影響は、産業活動とともに1950年代以降に顕著に現われている。図1に示すように人類活動に伴って鉛(Pb)が利用されるに伴い、徐々に大気中にも増加していることを示している。そして、特に、1950年頃から有鉛ガソリンの使用により、Pbが急激に地球規模で拡散していることが初めて科学的に実証されている⁴⁾。ここでは、グリーンランドの非汚染地域で

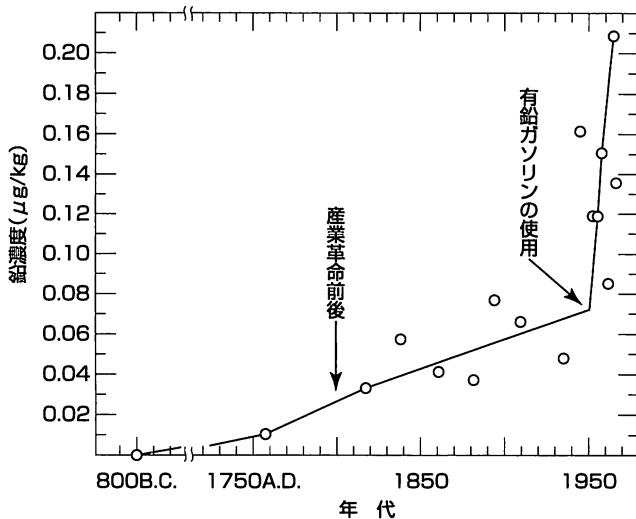


図1 鉛による地球環境汚染

出所：M. Murozumi et. al.: *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 33 (1969) 改変

の雪氷中 Pb の年代測定において、紀元前からの経年的な Pb 濃度の分布で、産業革命を契機に Pb による大気汚染の急激な拡大が認められた。特に、世界各地での有鉛ガソリンの使用が地球規模で指数関数的な汚染の増大をもたらしていることが明確に確認されたのである。これに、戦争や地域紛争での戦闘機、戦車や軍艦の莫大な燃料消費、弾薬による破壊による煙などによる汚染が加わっている可能性がある。その後も、Pb や水銀 (Hg) などの重金属類や農薬類などの地球規模での環境汚染やその影響が確認され、その対応に迫られてきた⁵⁾。これらは人類にとって最も難解な地球環境問題の一つであり、現在から将来的な資源エネルギー問題と広域越境大気汚染などに対する大きな環境保全課題と密接な関係をもつものでもある。

国内外における大気汚染は、歴史的に固定発生源である工場操業に伴う産業公害の代名詞であった。表1に示すように1930年のミューズ渓谷事件以来、欧米では石炭燃料を使用した工場からの煤煙で地域住民被害が多発した⁶⁾。日本

表1 大気汚染の主な歴史的イベント

年	事 件	内 容
1930年12月	ミューズ渓谷事件	ベルギーのミューズ渓谷で発生した事件。約1週間異常気象が続き、工場などからの亜硫酸ガスなどにより死者60人。家畜の死亡例もある。
1940年代	ロサンゼルス・スモッグ発生	米国・ロサンゼルスの急激な工業化と都市化で自動車排ガスが急増し、スモッグ発生。
1948年10月	ドノラ事件	米国・ペンシルバニア州ドノラで発生した事件。工場などからの亜硫酸ガスで当時の住民14,000人の約43%に被害があった。死者20人。
1950年12月	ロンドン・スモッグ事件	英国・ロンドンで5日～9日の5日間に暖房や石炭火発、自動車などの亜硫酸ガスにより、前年比約4,000人死亡者が増加した。
1960年代	四日市喘息	三重県四日市市、大規模な石油コンビナート操業による亜硫酸ガスなどで慢性気管支炎、呼吸器疾患が多数発生。1970年の四日市喘息訴訟で771人(死者34人を含む)が公害認定された。
1970年7月	光化学スモッグ事件	東京都杉並区の立正高校で、日本初の光化学スモッグによる健康被害が発生した。

国内では、1950年代から顕著に大気汚染や水質汚濁が拡大し、大きな被害をもたらした。1960年代に発生した三重県四日市公害は、1970年に四日市公害訴訟で「大規模石油コンビナート操業に伴う亜硫酸ガス汚染と住民の健康被害との相関」が認定された。1970年代には産業公害が法規制の効果もあり、収束し始めたかに見えた。しかし、モータリゼーションの激化で1970年代以降、国内外で自動車・道路公害が各地で顕在化し始めた。そして、自動車公害による大気汚染訴訟が各地で起きた。アメリカでは1970年12月に改定された大気汚染防止のための法律(マスキー法: Muskie Act)は一酸化炭素(CO)、炭化水素(HC)

や窒素酸化物 (NO_x) の自動車排気ガス規制を打ち出したが、自動車メーカー側からの反発で1974年に廃案となった。その間に本田技研工業は低公害エンジンの開発を進め、1972年にマスキー法規制値を達成できる複合渦流調整燃焼方式 (Compound Vortex Controlled Combustion; CVCC) を発表した。日本ではマスキー法の成立を受け、中央公害対策審議会が審議し、ガソリン乗用車に対する排ガス規制で日本版マスキー法と言われた厳しい排出基準 (NO_x の排出濃度を10分の1にまで削減する) で1978年から同法の基準と同じ規制を実施した。これは、自動車公害への反対世論と東京都を初めとする七大都市調査団の取り組みなどによる功績が大きいとされている⁷⁾。しかし、1973年以降の構造的不況の中で環境政策は大きく後退し、二酸化窒素 (NO₂) の環境基準が一日平均0.02ppm から0.04~0.06ppm まで大幅に緩和してしまった。1988年には公害健康被害補償制度が全面改定され、同年3月以降、大気汚染の指定地域が解除され、新規の大気汚染被害者の認定が打ち切られた。

また、1980年代に北海道の道路スパイクタイヤ粉塵問題が発生した。凍結路面での走行性能を向上させるために、タイヤのトレッド面に金属などで作られたスパイク (スタッド; 鋲) を打ち込んだタイヤが従来のスノータイヤに比べ凍結路を安全に走行できるため冬用タイヤとして普及した。日本の法律上のスパイクタイヤの定義は、金属製またはモース硬度4以上 (ドイツの鋲物学者フリードリヒ・モースに由来する鋲物の硬度の尺度の一つ) の非金属製の鋲状の物が固定されるタイヤである。そのため、特に北海道内では、冬期間に使用された自動車のスパイクタイヤが多重公害を引き起こした。根雪が始まる前の初冬や春先の雪解けシーズンのスパイクタイヤ使用で道路のアスファルトや標示塗料が削り取られ、車粉塵となって道路周辺環境を汚染した。沿道住民の健康被害、道路騒音、道路損傷による補修費や標示塗装費用の増大など、まさに、多重公害であった。北海道では道路被害だけでも一冬で、およそ200億円にのぼった。これらが1990年 (平成2年) 6月に「スパイクタイヤ粉じんの発生の防止に関する法律」公布・施行により、原動機付自転車を除き、スパイクタイ

ヤの原則使用が禁止されたため、一気に解決した。このように、1995年（平成7年）まで旧環境庁の『環境白書』にスパイクタイヤ問題が取り上げられていたが⁸⁾、これ以降、取り上げられなくなっている。

一方で、日本国内では1970年7月18日に東京都杉並区の立正高校で光化学スモッグ事件が発生し、女子学生41人が目の痛みや頭痛などの健康被害を受けた。それ以来、新たな大気汚染が都市部近郊での環境問題となってきた。日ざしが強くて風の弱い日に特に発生しやすい。光化学スモッグが発生すると人の健康に悪影響を及ぼしてきたが、日本では1973年をピークに減少傾向にあった。しかし、1992年に「自動車の NOx 総量削減に関する特別措置法」が施行され、2000年までに NOx の環境基準達成を目標にしたが自動車の増加や渋滞などで大気汚染が悪化してきた。さらに、中国大陆からの越境大気汚染などの影響も加わり、光化学スモッグの原因物質であるオキシダント濃度が増加している大都市地域もある。

光化学スモッグ発生メカニズムは、自動車や工場・事業場などから排出される NOx や HC などが紫外線を受け、光化学反応により二次的汚染物質を生成することにより発生する。それにより生成する有害な光化学オキシダントが空中に停留しスモッグ状になることをいう⁹⁾。二次的汚染物質としては、オゾン、パーオキシアセチルナイトレート（PAN）及び二酸化窒素等の酸化性物質、ホルムアルデヒド、アクロレインなどの還元性物質があるが、90%以上がオゾンである。光化学反応により生成される酸化性物質のうち、NO₂を除いたものを「光化学オキシダント」と呼んでいる。人間への健康上の影響は軽い症状で目の痛み、喉が異和感、皮膚の発赤などである。これ以上悪化すれば頭痛、発熱、意識障害などの重症例も出てくる恐れがある。実際に2007年4月28日、5月27日、福岡県北九州市では環境基準値の0.12ppmを超えるオキシダント濃度になり、光化学スモッグ注意報が発令された。この時点で、市立小中学校で開催が予定されていた運動会が全面中止となった事例もある¹⁰⁾。以後、毎年、春に光化学スモッグ注意報が頻発するようになった。環境省のまとめでは、2008

年に光化学オキシダントの注意報が出されたのは25都府県で延べ144日あった¹¹⁾。これによると見られる被害届が小中学生を中心に400人に上った。また、大気汚染物質が雨滴に取り込まれ、pHを平均4.68にしてしまう酸性雨問題¹²⁾とも大きくかかわっていると考えられる。さらに、東アジア地域での越境大気汚染防止のための連携強化による総合的な環境対策が必要となっている。

2. 自動車公害裁判の歴史認識とその影響

大気汚染とは大気中に溶解・浮遊するガスや粒子の大気への排出が過剰になった状態であり、アメリカの環境保護局 (Environmental Protection Agency) では、次の二つのカテゴリー化がされている。一つは健康影響が認められていて、基準値が作成されている criteria air pollutants (CO、CO₂、SO₂、粒子状物質、Pb、オゾン)、もう一つのカテゴリーは健康影響と関係がある hazardous air pollutants 189物質である¹³⁾。特に、公衆衛生分野の大気汚染疫学研究では、粒子状物質による健康影響が注目されている。PM10(10 μ m以下の粒子)、PM2.5 (2.5 μ m以下の粒子) が測定され、国内では浮遊粒子状物質 (Suspended Particulate Matter, SPM) (7～8 μ m以下の粒子) として測定されている。現在、固定発生源よりも移動発生源による大気汚染が問題となっている。また、WHO Air quality guidelines: global update (2005) は、大気汚染による短期的な暴露では呼吸器・心血管系疾患、急性喘息などの症状、仕事の欠勤や学校の欠席などの健康影響をまとめている。慢性暴露では呼吸器・心血管系の死亡、慢性呼吸器系疾患、肺がんなどへの影響をまとめている。

表2に日本の自動車産業に関連する主な環境法令をまとめて示した。この表では公害対策を契機に1968年以降の大気汚染防止が制度化されてきたものの、自動車排気ガスに対する実質的な対応が遅れているのが現状である。

表 2 日本の自動車産業に関連する主な環境法令

年	法 令 事 件
1967年 8 月	公害対策基本法制定（70年改正）
1968年 6 月	大気汚染防止法制定
1972年 1 月	浮遊粒子状物質にかかわる環境基準設定
1973年 1 月	大気汚染にかかわる環境基準設定
1987年 1 月	自動車排出ガスの量の許容限度告示
1992年 7 月	自動車の NOx 総量削減に関する特別措置法施行
1993年 7 月	環境基本法公布
2000年 9 月	騒音による環境基準の改定
10月	地球温暖化対策の推進に関する法律公布
2001年 7 月	自動車 NOx 法改正法公布
2002年 7 月	使用済み自動車の再資源化などに関する法律（自動車リサイクル法）制定
2005年 2 月	「京都議定書」発効（1997年12月 COP3 で採択）

学校保健統計調査に基づく日本の気管支喘息有症率（被患率）は、公害健康被害補償法（以下、公健法）の第一種地域指定が1988年に全面解除されて以降も増加傾向にある。特に、2006年度で気管支喘息有症率は小学生3.74%、中学生2.95%となっている。中学生では5年で約1%増加している。大都市では全国平均に比べて2～3倍程度の喘息有症率が高い状況で続いている¹⁴⁾。すなわち、小中学生の喘息が年々、急激に日本全国に拡大し、悪化し、約3%の児童が喘息で苦しんでいることが明らかとなっている。かつては産業公害の煙害であったが、現在は、モータリゼーションに伴う自動車排気ガスに越境大気汚染が加わって影響していると考えられる。

日本の自動車保有台数は2006年に約7,200万台で、ここ数年は毎年、約600万台の新車が販売されている。2006年の自動車生産台数で日本が1,148万台で世界第一位であった。2位の米国は1,126万台、中国が急成長して日米に次ぐ3位であった。しかし、その自動車産業の発展とともに、さまざまな公害問題を日本全国で引き起こしてきた。日本の道路公害に関する主な大気汚染訴訟を表3

表3 日本における道路公害に関わる主な大気汚染訴訟

年	訴 訟	内 容
1976年～1995年	国道43号訴訟	原告131人が国と阪神高速道路公団に対し、騒音・排気ガスが一定値以下になるまで道路共用差し止めと損害賠償を求めた訴訟。最高裁判決が沿道住民の健康被害に対し、国・阪神高速公団の損害賠償を命じたことは、画期的な判断といえる。差し止め請求は棄却されたが、1998年3月に2.3億円で和解した。
1978年～1995年	西淀川公害訴訟	原告519人が工場の煤煙と自動車の排気ガスによる都市型複合大気汚染の法的責任を問う訴訟。大阪地裁が排気ガスに関する国の責任を認めた画期的判決。なおこの判決に基づき、1998年7月に国との間で解決金39.9億円で和解した。
1982年～1998年	川崎大気汚染訴訟	原告401人が国と首都高速道路公団を相手取り、損害賠償と汚染物質の排出差し止めを求めた訴訟。NO _x 被害は1969年以降、SPMは1975年以降、NO ₂ と相加作用で公害病発症が認められ、1999年5月に解決金31億円で国、公団と和解した。
1983年～1994年	倉敷大気汚染訴訟	原告53人が1981年に倉敷市の医療費給付条例が廃止されたのに伴い、公害補償を求めて提訴。裁判では二酸化窒素(NO ₂)の健康影響を指摘した画期的判決が出た。1996年12月に解決金1.9億円で和解した。
1988年～2000年	尼崎大気汚染訴訟	原告379人が国、阪神高速道路公団と電力、鉄鋼など9社を相手取り、大気汚染物質の差し止めと損害賠償を求めた訴訟。また、解決金支払いと今後の大型車交通規制などの公害防止対策を条件に、1999年2月に被告企業、2000年12月に国と解決金24.2億円で和解した。
1989年～2001年	名古屋南部大気汚染訴訟	原告263人が自動車の排気ガスや工場の煤煙で健康被害を受けたとして、国と企業10社に対して汚染物質の差し止めと損害賠償を求めた訴訟。2001年8月に企業及び国と一括して解決金15.2億円で和解が成立した。
2006年～2007年	東京大気汚染訴訟	原告527人が国道、都道、首都圏高速道の管理者である国、都、公団及び自動車メーカー7社を相手取り、損害賠償請求、汚染物質の差し止めを求めた訴訟。2007年7月に国、東京都と企業の道路公害の責任が一応認められて、解決金12億円で和解が成立した。

出所) 坂井宏光、『歴史認識に基づく環境論』、p.52、現代図書2006年、『朝日新聞』2001年8月6日付け、2003年6月27日付け、『救済枠組みに課題』2007年8月9日付けなどより作成

にまとめて示した。その公害裁判の歴史の中でも特に、1995年7月5日の西淀川公害訴訟の高裁判決と同年7月7日の国道43号訴訟の最高裁判決で国と阪神高速道路公団が敗訴した。これらの公害裁判の判決は、歴史の流れを大きく変えた画期的な判決と言っても過言ではない。その後の水俣裁判などにも影響を与え、2004年の関西水俣公害訴訟でも国の責任が認定された。そのため、1996年の東京大気汚染訴訟では早くから和解勧告が出されて、原告と国、東京都、自動車メーカーは和解のための補償や具体的且つ現実的な対応策について検討を進めて、2007年7月9日に和解した。しかし、救済の枠組みなどで課題が残っている。これに伴い、他の公害訴訟にも大きな影響を与え始めている。例えば、2005年以降、アスベスト被害者補償制度、PCB食品公害救済法などが次々と出された。さらに、水俣病問題の新たな検証が加えられ、全面救済への動向が注目されている。

尼崎訴訟判決（神戸地判、平成12・1・31判時1726号20頁）は1996年から実施された千葉大学医学部の疫学調査に基づいて、ディーゼル排気微粒子(DEP)による気管支喘息の発症について、集団的因果関係のレベルで高度の蓋然性が認められる範囲で因果関係を肯定した。この調査では喘息発症率が、都市部沿道部（基線道路50m以内）について、非沿道部（50mを超える地域）の2倍、田園部の約4倍のデータが得られていた。これに基づき気管支喘息に罹患した原告に救済を認めたのである。この尼崎判決以降、名古屋南部訴訟判決（平成12・11・27）、東京訴訟判決（平成14・10・29）は、同様に千葉大調査を当該地域に当てはめる手法で因果関係を判断している。このように近時の大気汚染公害訴訟判決では、自動車排気ガスによる大気汚染（NO₂やDEP）と住民の健康被害との因果関係が肯定され、そのことを前提に、幹線道路沿道の原告については、道路管理者の法的責任（損害賠償責任）が認められているのである。現行の公健法は、四大公害裁判、とりわけ四日市訴訟が公害と健康被害の因果関係、および企業の賠償責任を認めたことを背景に、被害者の早期・迅速な救済をめざして制定されたが、最近の大気汚染公害訴訟は、判決や和解の中で、大

気汚染と健康被害の因果関係やそれを踏まえた法的責任が明らかになっている点で被害者を裁判によらずに迅速に救済する制度の必要性を示している。

全国のすべての自動車公害被害者をカバーする救済制度を構築するための国や自治体の法的責任が論議されている¹⁵⁾。そして、現行の救済制度としてアスペスト被害、薬害関係、原子力損害賠償制度、自動車起因の被害、労災補償、原子爆弾被害者に対する援護に関する法律、予防接種、学校事故、ボランティア活動による事故から論議している。大気汚染被害救済において行政と道路公団のみならず、自動車産業の責任も重くとらえられるようになってきた¹⁶⁾。特に、自動車メーカーの責任も追及した東京大気汚染訴訟において、判決（東京地裁判決平成14年10月29日判例時報1885号23項）は、道路による大気汚染と健康被害の因果関係を肯定し、道路管理者の法的責任を肯定しつつ、自動車メーカーの法的責任は、これを否定した。しかし、高等裁判所の所見では、「自動車によってもたらされる大気汚染ひいてはこの大気汚染による健康や生活環境への影響」について自動車メーカーにも社会的責任はあるとしている。メーカーがどのような車を作るかという責任は当然あり、公害対策の不十分な車を大量生産・販売したことを理由にあげ、賠償責任を問うことができるとされている。なお、自動車排気ガス汚染に対するユーザーの関与は、他律的・受動的 성격が強いとされている。そのため、責任の性質は、自動車メーカーや道路管理者とは異なるが、排ガス汚染に構造的に関与していることは事実であるから環境税のような形での費用負担を求めることも考えられている¹⁷⁾。

一方、自動車産業の課題として、廃車処分・リサイクルの問題がある。自動車生産では、大量の素材や化学製品などが使われ、大量廃棄の過程でも大気や水の汚染、資源リサイクルなどの問題とつながっている。日本国内では毎年、約500万台が廃車され、そのうち海外輸出分を除き、約400万台が日本国内で廃棄処分されている。その中で、瀬戸内海国立公園内の小豆島の西方にある香川県豊島で廃棄物不法投棄問題が発生した。1970年代後半から産業廃棄物中間処理業者がシュレッダーダストや製紙かすを野焼きし、10年以上不法埋め立てを

続けた。1990年に兵庫県警により摘発、操業停止となったが。大量の有害物質を含んだ50万tを越える産業廃棄物は放置され、ダイオキシン、PCB、水銀、ヒ素、カドミウムなどの有害化学物質が瀬戸内海の海域に流出している。1993年に豊島住民は香川県・処理業者・排出業者を相手取り、産業廃棄物の撤去などを求める国の公害調停を申し立てた。1995年に国の調査報告では産廃投棄現場を調査した結果、香川県の説明する3倍近い廃棄物が埋まっていた。1997年、香川県と豊島住民とが中間合意を結び、技術検討委員会から、熔融処理による無害化が可能となり、全量が島外に撤去可能とする報告書が提出された。2000年6月6日、豊島の公害調停は香川県による産業廃棄物の撤去と知事が豊島住民に謝罪して終結した。現在、香川県が責任を持ってこの廃棄物の処理を進めているが、その処理に10年以上かかる上、有害物質除去など環境保全に配慮した処理処分にはおよそ500億円必要であると言われている。この事件は日本国内の初めての廃棄自動車に関連する大量不法投棄となり、産業廃棄物による環境影響が多くの人々に認識されたものである。

3. 自動車公害と水環境問題

地域環境では道路周辺や田畑、近郊の工場や鉱山など様々な汚染源から由来する重金属類などの汚染物質が水環境への流入・蓄積が確認されてきた^{18, 19)}。道路環境の影響を反映するものとして、都市部の降雪中の重金属濃度から大気汚染の指標として評価を試みた研究報告もある²⁰⁾。その中で、都市部の自動車公害では、人の健康被害から主に大気汚染の環境改善策が進められてきた。自動車などの移動汚染源では水環境汚染や生態系への影響も考慮しなければならない。すなわち、モーダリゼーションの進展から道路整備網が拡大し、都市域からのノンポイント汚染があり、雨天時に流出する路面排水の特性を把握することは環境影響を評価する上で重要となっている。特に、雨天時の道路排水や屋根排水は都市交通活動由来の重金属類などで汚染されており、その流入する水

環境への負荷や環境影響が懸念されてきた^{21~23)}。これまで、地域の周辺水域への環境影響から路面排水の流出特性、排水中の有機物や栄養塩類などの流出挙動から汚濁負荷を評価している報告がある²⁴⁾。また、路面排水の水質汚濁では重金属や微量有害物質に関する報告は多くあり、道路塵埃中の重金属類の溶出特性などが調査・研究されてきた²⁵⁾。

重金属の中でも鉛 (Pb) の主な発生源については、近年まで世界中でガソリンに添加されたアンチノック剤として使用されたアルキル鉛化合物に起因すると考えられ、地球環境を広く汚染してきた(図1参照)。日本では1975年のレギュラーガソリンの規制に始まり、1986年には世界で最も早く全てのガソリンの無鉛化が完了している。また、日本の国際環境貢献の例として環境分析技術支援などを通じて、インドネシアなどでは1998年頃からブルースカイ計画を進め、無鉛ガソリンの普及を推進している。特に、大気汚染防止と同時に水質汚濁防止のための人材育成を援助してきた。

一方、都市部の汚染物質の環境挙動と運命に関する調査研究が進められてきた。その中で、道路排水と底質中の鉛分析から、特に粒径が小さい底質 (<53 μm) ほど、また交通量が多い地点ほど鉛が堆積し、降雨に伴い流出していることが示されている²⁶⁾。また、鉛の由来や発生源が調査され、舗装用アスファルト、道路標示用の黄色塗料、タイヤ、鉛製ホイールバランスウェイト、自動車排出粒子の鉛濃度と同位体比、Pb/Sb 比から分析した結果、主に鉛製ホイールバランスウェイトが原因であることが突き止められている。したがって、鉛発生源対策として、鉛製ホイールバランスウェイトはステンレス製などの代替品を早急に普及させるべきである。一方、都市環境における住民の健康リスクを高める有害化学物質の一つにベンゾ(a)ピレン (B(a)P) がある。B(a)Pを含む多環芳香族炭化水素 (PAHs) の都市域面源での堆積状況や雨天時流出挙動を調査した事例もある²⁷⁾。B(a)P は底質中の粒径が細かくなるにつれ単位堆積物当たりの含有量は高くなり、堆積量は $2.5\sim 3.0\mu\text{g}/\text{m}^2$ で、降雨直後のSS濃度は $640\text{mg}/\text{l}$ 、B(a)P濃度は $0.9\mu\text{g}/\text{l}$ と最大値を示している。

今後、これらの移動汚染源由来の汚染物質の地域環境から地球規模での水環境モニタリングや生態系への影響を調査する必要がある。また同時に、クリーンプロダクション（CP）の概念²⁸⁾から自動車に使われている材料や使用・廃棄時に有害汚染物質を排出しない素材の活用・代替化を推進していかなければならない。

4. 先進的自動車産業の発展と環境保全対策

米国の GM など 3 大メーカーを始め世界の自動車産業界は、地球温暖化や石油資源対策、国際不況などの大きな困難に直面している。そこで、雇用の確保と効果的投資として、ハイブリッド自動車開発や車体の炭素繊維を使用した軽量化、小型エコカーや電気自動車などの新技術の開発が加速している。

自動車先進地域としての欧米や日本では自動車の排ガス規制に対応した技術開発を進め、特にガソリンエンジン搭載車両ではほぼ完成したものと見なされている。その基本は三次元触媒による CO、HC、NO_x の同時浄化方式であり、また、厳しい排ガス規制値をクリアするためにジルコニア酸素センサが重要な役割を演じていることが示されている²⁹⁾。そして、このようなセンサを含めた制御系の各種デバイスは自動車の実用的使用期間、例えば12万マイル走行／10年と言う超寿命を達成している。

次世代のクリーンエネルギーとして水素が注目され、特に自動車用燃料電池の開発が世界各国のプロジェクトとして実用化に向け取り組みがなされている。すでに、1839年に W. Grove が白金電極と希硫酸電解液からなる燃料電池(FC)を開発し、発電を初めて実証した³⁰⁾。日本でも水素で走る燃料電池自動車開発が推進され³¹⁾、以後、FC は電気自動車 (EV) 電源や家庭用電源として広い普及を目指してきた。アメリカではカルフォルニア燃料電池パートナーシップ (CaFCP)、EU では Zero-Regio プロジェクト (第 6 次フレームワークプロジェクト)、日本では水素・燃料電池実証プロジェクトなどがある³²⁾。しかし、

燃料電池自動車（FCV）の実用化には、燃料電池の高価な白金系触媒の減量化、代替化や電解質膜の改善などの大きな課題がある³³⁾。また、FCVの普及には安全性の確保が大前提であり、燃料である水素の漏洩を検知するセンサの重要性が高まっている。2005年、経済産業省は2010年までに5万台、2020年に500万台、2030年に1,500万台のFCV導入目標を示し、それに向けて国土交通省により道路輸送車両の保安基準等の関係法令も改正・交付・施行されるなど水素センサ設置義務化の取り組みも進められている。燃料電池車用水素センサの要求仕様は表4に示されているような要件が必要とされている³⁴⁾。その中でも特に起動特性と耐久性・信頼性、精度、寿命が大きな課題となっている。さらに、安全性確保のための高い品質と拡販に向けた小型化・低コスト化も合わせて求められている。

表4 燃料電池車用水素センサの要求仕様

項 目	要 求 仕 様
水素検知濃度閾	0～4 vol.% (100%LEL)
仕様環境	－35℃～90℃ (～100%RH)
起動特性	2 sec. 以内での検知
耐久性・信頼性	耐衝撃性、耐振動性、高濃度水素ガス暴露、腐食性ガス暴露、シリコン被毒など
精度	±10～20% (初期～耐久後)
寿命	10年以上など

自動車メーカーがグリーン車やエコカーを製造販売し、製造物責任（PL）法の対象にならないとしても、大都市へ大量に集中・集積すれば様々な環境問題が発生しやすく、マイナス経済現象も引き起こしている。そのため、道路沿線での大気汚染や事故、騒音や大渋滞など道路公害に対する技術開発と制度整備の両面からの環境保全対策が必要である。将来的に、環境政策として、シンガポールや欧米の各都市が実施しているように、自動車の保有総台数の限定や都心部への流入を総量規制すべきである。また、モーダルシフトの一環として地

下鉄やモノレールなどの公共交通手段を導入し、都市計画で交通量を調整しなければならない。さらに、自動車産業活動は、クリーンテクノロジーを駆使した低公害、省エネ・省資源技術・システムの導入が不可欠である。特に、社会的取り組みとして、広域的に CP 概念を導入したゼロ・エミッションを実践していくことが必要である。すでに、企業の社会的責任（CSR）活動の一環として、地球環境問題対策が進められている。特に、ホンダでは、約86%のリサイクル率を2015年までに90%以上に高める目標を設定して取り組んでいる³⁵⁾。さらに、ホンダでは環境課題の大きさを考慮した対策として、①大気汚染問題には従来型内燃機関の排出ガスのクリーン化、②気候変動問題には燃費向上、ハイブリッド技術、内燃機関の進化など、③資源エネルギー問題には代替燃料技術の開発で対応する戦略を明示している³⁶⁾。ここでは、グローバルな環境マネジメントシステムの導入による環境対応も示している。

表5に先進的な省エネ型自動車とガソリン車との技術内容を比較して示した。日本の自動車メーカーの省エネ、低燃費技術は世界一といわれる。例えば、トヨタのハイブリッド自動車（HV）のプリウスは初代モデルが1997年に世界初の量産 HV として発売され、世界中で高く評価された。2003年9月には2代目が登場し、エコとパワーを同時に進化させる「ハイブリッド・シナジー・ドライブ」をコンセプトに開発した新しいハイブリッドシステムを搭載し、世界最高レベルの低燃費35.5km/lを実現している。本田のインサイトも HV として、優れた技術開発を行っている。HV はエンジンとモーターを併用しながら走る自動車である。エンジンによる発電と制動エネルギーを二次電池に蓄えるために、外部から充電する必要はない。そのため、ガソリンとバッテリーで効率よく走行可能である。ガソリン車の1km走行当りのCO₂排出量は193.0g-CO₂/kgでHVはその約64%、FCVは約45%、EVは約25%まで減少すると見積もられている（日本自動車研資料、2009）。その一方で、1975年からブラジルではサトウキビを原料としたエタノールを製造し、エタノール車の普及が推進されている。2001年にインド・デリー市では司法の後押しもあり、圧縮天然ガス（CNG）

表5 先進的自動車の種類と比較

自動車の種類	CO ₂ 排出量 (g-CO ₂ /km)	技術内容
電気自動車 (EV)	49.0	蓄電池によりモーターのみで走る。
燃料電池自動車 (FCV)	86.8	水素と酸素を反応させて発電し、モーターで走る。
ハイブリッド自動車 (HV)	123.0	エンジンとモーターを併用しながら走る。
ガソリン車	193.0	ガソリンエンジンで走る
圧縮天然ガス (CNG) 自動車	—	メタンを主成分とする CNG で、熱効率が向上している。
液化石油ガス (LPG) 自動車	—	ディーゼルの代替燃料とする。
メタノール自動車	—	NG などから製造される液体燃料として活用する。
バイオ燃料自動車 (BFV)	—	廃油、菜種油などを代替燃料とする。

資料) ホンダリポート2009、日本自動車研究所資料2009、環境再生保全機構資料2009などより作成

自動車を普及・推進し、大気汚染を大幅に改善している。

また、各国では、環境保全を推進しながら生産活動を持続可能なものとする進んだ技術開発と廃棄物の資源化を推進している。さらに、次世代車として、FCV と EV は現在の HV 以上に性能とコスト改善するものと期待される。HV は、現行の低燃費エンジンが主流となっている。燃費の改善によって排気ガスの量が少なくなる。排気ガスの環境被害の抑制に一定的効果がある。バイオ燃料は生物資源から獲られる有機物を利用したクリーンなエネルギーである。原料に含まれている炭素や水素を発酵、分解してエネルギーを取り出すことができる。これは、化石燃料の代替燃料の一つとして注目され、NO_x などの発生抑止につながると考えられる。ディーゼル車は黒い煙や NO_x を出して問題となってきたが、自動車業界における技術革新で改善されてきた。現在、ディーゼル車は燃費に優れ、CO₂の排出量が少ないため、欧州では人気を呼び、新車販売の半分以上がディーゼル車である。

一方で、HV から炭素繊維やプラスチックなどを活用した軽量化、小型エコ

カーやEVなどの新技術の開発はCP概念の適用といえるだろう。HV用の二次電池にはニッケル電池(Ni-MH)が使われてきたが、2007年以降、容積・重量効率の良いリチウムイオン電池(LiB)に転換を進めている。炭素繊維は1971年に開発され、アクリル繊維を焼成した炭素繊維複合材料(Carbon Fiber Reinforced Plastics; CFRP)は強度、弾性率に優れており、鉄やアルミニウムなどの金属に代わる素材として大幅に軽量化や省資源・省エネルギー化を達成できるため、自動車産業へのニーズも高まっている³⁷⁾。炭素繊維での軽量化に大きな効果をもたらすものである。炭素繊維利用による自動車1台のCO₂削減効果として、ライフサイクルアセスメント(LCA)ではCFRP17%適用で従来車の約30%軽量化により約5 t/10年と見積もっている。これに軽自動車を除く、4,200万台の自動車と430機の航空機に適用すると実に、国内のCO₂年間総排出量約13億トンの約1.5%削減になる。炭素繊維を1トン使用した場合のLCAでは、自動車で50トン削減、航空機では1,400トンのCO₂削減と試算している。

さらに、バンパーやインパネ材料として使用されているポリプロピレン(PP)、ガソリントank向け高密度ポリエチレン(HDPE)は軽量化に寄与し、ディーゼル排気ガス処理の尿素SCR(Selective Catalytic Reduction)システムは世界一厳しいと言われる日本の排ガス規制をクリアーすることに大きく貢献するものである³⁸⁾。また、高弾性・高熱伝導度ピッチ系炭素繊維を活用した軽量化、高速安定性、衝撃緩和を目指し、CFRPを使用したフレームやプロペラシャフト、高速走行時の制動性、耐摩耗性を飛躍的に向上させたC/C(Carbon, Ceramic/Carbon Composite)ブレーキ、特殊ゼオライトを用いたフロン系冷媒フリーの吸着ヒートポンプシステムによる空調やデシカントシステムによる調湿と燃費の向上や快適な車内空間を実現する技術・システムが研究開発されている。このように、CP概念を導入して自動車産業の製品開発にはLCAを適用し、原料の調達から生産、流通、消費、廃棄までの一連の省エネ・省資源且つ、無公害化を一層推進していかなければならない。

5. 持続可能な交通産業と課題

都市部の自動車排気ガス由来の大気汚染を解決するには、今のところ高性能なFCVやEVの開発と普及にかかっている。過渡的にはHVの普及とモデルシフトにより、大気汚染物質を減少させることができる。しかし、世界の人口は2009年9月現在の推計で68億2千万人を超え、貧富の格差拡大、温暖化などの地球環境問題が山積し、石油の枯渇が危惧され、大地の表土と森が失われている。日本の人口は1億2,700万人で、車の保有台数は7,200万台ぐらいでほぼ定常状態にある。新興国の中国は人口約13億人であるが、車の保有台数は日本とほぼ同じ台数になり、世界最大の販売市場となり急激に増加する一方である。すでに車社会になっている日本の平均車保有台数ベースで計算すれば、中国では自動車の保有台数が6億3,000万台まで増加すると見られ、世界の中では日本レベルで自動車社会になれば38億台に増加すると予測される。そのため、大量の化石燃料の消費によるエネルギーや資源枯渇問題、燃焼から発生した排気ガスによる大気汚染や地球温暖化問題が深刻化している。また、使用済み自動車においても、適正な処理・処分やリサイクル問題を抱えている。

自動車は、経済社会における数多くの産業部門と何らかの関連を持ち、2万～3万もの部品から組み立てられる最先端の工業製品である。日常生活でも自動車なしでは、現代社会が成り立たなくなりつつある。したがって、自動車産業は地球環境の保全と持続可能な経済発展の最重要テーマとして、国際的に取り組んでいかなければならない。その基本方針は、CSRとして自動車の製品LCAを適用し、開発・生産から、使用、廃棄に至るまでの一生涯を通して環境負荷を低減し、同時に、事業活動を通じてだけでなく、地域社会の環境保護活動にも積極的に取り組むことにある。そこで、環境立国で技術立国でもある日本とアジア地域の自動車産業と環境問題の現状に対する連携した環境保全対策が益々重要である。また、政策上、モデルシフトの推進や自動車の保有台数、都市への乗り入れ規制などにより交通量を総合的に抑制していかなければなら

ない。

21世紀は、地球環境やエネルギー問題に直面して、脱車社会のためのモーダルシフトが注目され、高速化した「鉄道ルネッサンス」の時代となりつつある。米国では、カリフォルニア州で「米国版・新幹線」プロジェクトの超高速鉄道の建設を推進し始めた³⁹⁾。将来的には、モーダルシフトによる自動車から公共交通機関である列車や船舶、モノレールなどの大量輸送交通の整備が課題である。また、東アジア地域の公害や社会環境問題の連携対応と日本の国際環境貢献を推進しなければならない。そのためには、特に、日本の産業発展と公害問題の歴史認識を正確にアジア地域に伝え、問題を共通認識する必要がある。また、日本の進んだ低公害車生産技術や CP システムを途上国に技術移転することが大きな国際環境貢献となる。

高度に発達した現代の産業活動や社会生活は、エネルギー源としてその大半を化石燃料に依存している。その中で、自動車は人類に多大な恩恵をもたらす一方で、全 CO₂ 排出量の約 1/5 を占めるなどの環境負荷の側面を持ち、地球温暖化防止、資源・エネルギー保全、環境保全の観点などから様々な技術開発が求められている。輸送機関の中核をなす自動車は大量の石油を消費し、CO₂ や大気汚染物質の移動排出源として健康問題や環境問題を引き起こしてきた。国連の気候変動に関する政府間パネル (IPCC) は 2005 年に地球温暖化の影響を最小限に抑えるために 2020 年までに温室効果ガスを減少に転じさせ、2050 年までに 2000 年比で半減させるべきだと報告している。世界の自動車販売規模は過去 10 年で 3 割以上増加し、2006 年に 7 千万台を超え、保有台数も 2 割以上に増え、8 億数千万台に達した⁴⁰⁾。2020 年までに同水準で拡大が続くと新車販売は 9 千万台、保有台数は 10 億台を超える。また、自動車産業は現在、FCV や EV の次世代自動車の技術開発を競っているが、大きな課題としてコストが高く、性能が現行のガソリン自動車に及ばないなど、実用化と普及には 20 年程度の歳月を要するだろう。したがって、歴史認識に基づく環境政策の中で自動車排気ガス対策は、今まで以上に着実な燃費改善と中・長期的な代替燃料技術開発を進め

るしかない。さらに、長期的目標として、自動車に依存しない持続可能な社会の構築を構想することが最大の課題である。

おわりに

自動車は初登場してから、すでに170年以上を経過した。エコカーとして注目される電気自動車は、ガソリン車よりも早くから登場していたが性能面やコスト面で普及しなかった。しかし、地球環境問題が深刻化する中で、自動車産業における科学技術の革新は目覚しく、HV が当面、ある程度自動車による環境被害を抑え、一つの問題解決手段と期待されているが、現段階でまだ不明な点も多い。その中で、石油関連業界は2009年9月に、HV の普及見通しを2020年に約1,450万台として、ガソリンの消費が約30%減少するとしている。欧州では、メルセデスベンツと BMW が HV の販売を決めている⁴¹⁾。世界的な動きとして、2020年頃までに HV 車が主流となり、段階的に2050年頃までに FCV と EV に移行すると推測される。HV、ディーゼル車、あるいは、次世代車といわれる FCV や EV のいずれにしても、低公害対策には貢献するが資源・エネルギー問題や社会環境問題を解決する究極の手段ではない。2008年はサブプライム問題に端を発した世界的な経済不況に見舞われ、住宅産業から自動車産業まで影響が大きく拡大した。アメリカのビッグ3と言われる、GM、クライスラー、フォードが経営難に陥り、日本の自動車輸出も低迷し、トヨタやホンダも軒並み生産調整を強いられている。その中で、巨大な「世界の工場」から「世界の市場」に変化しつつある中国の自動車産業の発展と環境問題の動向が注目される。

日本国内では自動車の利用を減らし、交通公害対策として公共交通機関の利用を促す政策の強化が求められてきた⁴²⁾にもかかわらず、最近の実態は高速料金などの低料金試行や無料化が論議されている。そのため、公共交通機関の利用が減少し、益々環境負荷が増大している。一方で、世界銀行によれば2020年まで

に中国の自動車保有数は1億7,000万台に達し、米国を抜くとされている。中国の自動車販売台数は年間700万台を超え、2008年に日本を抜き、1,600万台の米国に次ぐ世界第2位の自動車市場となった。中国国家発展改革委員会は2009年度の新車販売が1,200万台に達する（前年比約28%増）と報告している（新華社通信、2009年9月5日）。13億人の人口を抱える巨大市場で、所得増大が続く中間層に自動車需要が拡大していることに加え、低価格車を中心とした東南アジアや中東、欧州などへの輸出戦略で生産規模は拡大の一途をたどっている。中国の政策当局は、低公害車への大胆な優遇措置や都市部の公共交通網の整備なども進めなければならない。今後、アジア大陸でNOx発生源が増えれば、今以上に日本国内で越境汚染が深刻となる可能性がある。中国自動車産業の今後のカギは「エコカー」にある。中国国家発展・改革委員会（国家発改委）が2004年6月に打ち出した「自動車産業発展政策」では、小排気量車、HVなどエコカーの開発を中国自動車産業育成のための基本方針として盛り込んでいる。続く原油高も、消費者の目を低燃費型車へと移らせる大きな要因である。また、安全性の向上など品質面での改善が課題となっている。中国政府は国民の不満を恐れて燃料消費税を避け、代わりに国産車に対し厳しい燃費基準と排出ガス規制を設けた。それぞれ2008年と2010年に完全実施されれば、欧州連合並みの自動車基準が達成されることになる。しかし、その一方で環境への悪影響とともに石油の安定供給の問題がある。政府の試算によれば、自動車の石油消費量は1990年代半ばの10%から2010年にはおよそ40%に増大する見込みである。これに伴い石油の輸出依存率は現在の3分の1から2010年には70%に膨れ上がる。こうした急成長に二酸化炭素排出量など地球環境への大きな影響が懸念されている。「中国は繁栄のためにもはや環境問題を犠牲にできない」というアジア共同体としての共通認識が求められている。中国で自動車を生産するメーカーは、米国や日本がこれまで体験したことのない深刻な環境問題の課題を背負っている。それに、加えて道路整備、駐車場整備、交通事故対策、ガソリン需要問題の早期解決など、自動車の拡大に伴う環境整備も急がねばならない。

このように、自動車産業における資源エネルギー問題は直接・間接的に地域環境や地球環境問題に大きく影響を与えることが歴史認識され始めた。したがって、自動車の技術開発のみで環境問題を解決することはできない。持続可能な社会の構築には、人々が地域環境保全へ関心を持ち、未来の世代に対する責任感と、自動車の技術革新とともに、共に単に便利な乗り物に依存しないライフスタイルの変革が求められる時代である。

文 献

- 1) 柴田徳衛、永井進、水谷洋一編著、『クルマ依存社会 自動車排出ガス汚染から考える』、実況出版 (1995)
- 2) 日本環境会議、『アジア環境白書1997/98』、東洋経済新報社 (1997)
- 3) 自動車の歴史、<http://www.waterplanethomeunixnet/~ohno/car-history/index.php>
- 4) M.Murozumi, Chow T.J. and Patterson C., Chemical concentrations of pollutant lead aerosols, terrestrial dusts and sea salts in Greenland and Antarctic Snow Strata. *Geochemica et Cosmochemica Acta*, 33, 1247-1294 (1969)
- 5) 坂井宏光、有害化学物質対策へのクリーナ・プロダクションの適用と環境対策、九州国際大学「教養研究」、第5巻、第3号、1～22 (1999)
- 6) 坂井宏光、『歴史認識に基づく環境論 改訂版』、pp.50～53、現代図書 (2006)
- 7) 日本環境会議、「第1章 日本」、『アジアの環境白書 1997/98』、pp.63～112、東洋経済新報社 (1997)
- 8) 環境庁編、『環境白書 平成7年版 各論』、p.90、大蔵省印刷局 (1995)
- 9) 近藤次郎、『環境科学読本』、pp.39～43、東洋経済新報社 (1984)
- 10) 朝日新聞、2007年5月28日付け
- 11) 朝日新聞、2009年1月21日付け
- 12) 環境省編、『環境・資源循環型白書』、pp.123～124 (2009)
- 13) 大気汚染被害者救済制度検討会、新たな大気汚染公害被害者救済制度の必要性とその基本的考え方、環境と公害、Vol.38、No.3、2～10、岩波書店 (2009)
- 14) 頼藤貴志、浦久保雄介、津田敏秀、大気汚染疫学の最新知見、環境と公害、Vol.38、No.3、11～16、岩波書店 (2009)

- 15) 磯野弥生、被害救済と国・自治体の責任、環境と公害、Vol.38、No.3、17～23、岩波書店（2009）
- 16) 吉村良一、「責任」原理と環境・公害被害の救済—大気汚染被害救済における自動車メーカーの「責任」を中心に—、環境と公害、Vol.38、No.3、24～29、岩波書店（2009）
- 17) 除本理史、自動車排ガス汚染をめぐる関係主体の責任—「応責原理」に基づく被害者救済制度に向けて—、環境と公害、Vol.38、No.3、30～36、岩波書店（2009）
- 18) H. Sakai, Y. Kojima, K. Saito, Distributuion of concentration of sieved sediments and water of the Toyohira river, Water Research, 20(5), 555～56（1986）
- 19) 坂井宏光、飯山悟、都甲潔、マルチチャンネルセンサーによる河川水質の計測と総合評価、用水と排水、Vol.42、413～420（2000）
- 20) H. Sakai, T. Sasaki and K. Saito, Heavy metal concentrations in urban snow as an indicator of air pollution, The Science of the Total Environment, 77, 163-1274（1988）
- 21) Pitt R. Field, R. Labor M. and Brown M., Urban stormwater toxic pollutants: assessment, sources, and treatability, Wat. Environ. Res., 67, 260-275（1995）
- 22) 新矢将尚、小西孝明、宮西弘樹、石川宗孝、高速道路排水における汚濁負荷の流出特性、用水と排水、Vol.44、207～213（2002）
- 23) Backstom M., Nilsson U., Hakansson K., Allard B. and Karlsson S., Speciation of heavy metals in road runoff and road side total deposition, Wat. Air. Soil Pollut., 147, 343-366（2003）
- 24) 和田桂子、藤井滋穂、雨天時における路面排水の水質特性および汚濁負荷の流出挙動に関する研究、水環境学会誌、Vol.29、No.11、699～704（2006）
- 25) 村上道夫、中島典之、古米弘明、加藤勇治、東京都内の道路塵埃中重金属類の溶出特性、水環境学会誌、Vol.29、No.11、731～735（2006）
- 26) 新矢将尚、船坂邦弘、加田平賢史、松井三郎、自動車交通に起因して流出する鉛の発生源の同定、水環境学会誌、Vol.29、No.11、693～698（2006）
- 27) 和田安彦、三浦浩之、分布型雨天時汚濁解析モデルによる自動車排ガス由来汚染物質ベンゾ(a)ピレンの自動車道での堆積・流出挙動解析、水環境学会誌、Vol.30、No.5、257～265（2007）
- 28) 坂井宏光、『クリーナープロダクションに基づく環境保全と持続可能な社会の展望』、p.10、ライフリサーチプレス（2008）
- 29) 鈴木晨、自動車排ガス規制と酸素センサ、化学センサ研究会（第62回）、

- 22～29 (2003)
- 30) 渡辺政廣、燃料電池は未来のエネルギー、化学と工業、Vol.57、No.2、12～15 (2002)
- 31) 杉山雅彦、水素で走る燃料電池自動車、化学と工業、Vol.56、No.8、869～772 (2003)
- 32) NEDO、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構ウェブサイト
<http://www.nedo.go.jp/nedata/17fy/13/e/0013e012.html>
- 33) 由利伸子、わが家に燃料電池車が届く日、化学と工業、Vol.59、No.1、4～7 (2006)
- 34) 新西一哉、西川亜希子、江田健、燃料電池自動車向け水素センサ、Chemical Sensors、Vol.25、No.1、2～5 (2009)
- 35) ホンダ環境年次レポート2007 (2007)
- 36) ホンダ環境年次レポート2009 (2009)
- 37) 東レグループ CSR レポート2008、pp.14～15 (2008)
- 38) 三菱化学株式会社、三菱化学グループの自動車向けビジネス展開、化学と工業、Vol.59、No.1、30～31 (2006)
- 39) 朝日新聞、「鉄道ルネッサンス」、2009年2月2日付け
- 40) 朝日新聞、「温室効果ガスの排出抑制」、2007年5月11日付け
- 41) 朝日新聞、2009年9月2日付け
- 42) 環境省編、『環境白書』、pp.15～20 (2006)