

博士論文

行政の公開情報を活用した地球温暖化対策と それに伴う大気汚染削減効果の検証

平成30年9月

広島大学大学院生物圏科学研究科

中谷 郁夫

博士論文

行政の公開情報を活用した地球温暖化対策と それに伴う大気汚染削減効果の検証

平成30年9月

広島大学大学院生物圏科学研究科
環境循環系制御学専攻

中谷 郁夫

目次（1／2）

要旨	iv
ABSTRACT	v
KEY WORD（キーワード）	vi
第 I 章 序論（地球温暖化対策の現状と大気汚染物質の現状・評価事例）	
I－1．背景	1
I－2．行政の公開情報	2
I－3．地球温暖化対策の現状概括	2
I－4．大気汚染物質の現状把握と変動予測	4
－4.1 現状把握（環境基準と達成率）	
－4.2 光化学オキシダント変動予測の評価事例	
－4.2.1 広域的な研究機関による評価事例	
－4.2.2 地域的な研究機関による評価事例	
－4.3 評価事例のマッピングと課題	
I－5．研究目的	12
I－引用文献	13
第 II 章 地球温暖化対策に関する国の補助事業の貢献度と CO₂ 削減予想	
II－1．緒言	15
－1.1 国の CO ₂ 削減目標	
－1.2 国の地球温暖化対策経費	
II－2．方法	21
－2.1 CO ₂ 削減単価	
－2.2 補助事業の貢献度評価（短期目標に対して）	
－2.3 補助事業の CO ₂ 削減予想（短期・中期目標に対して）	
II－3．結果と考察	22
－3.1 補助事業の貢献度評価（短期目標に対して）	
－3.2 補助事業の CO ₂ 削減予想（短期・中期目標に対して）	
－3.3 評価の課題	
II－4．結言	27
II－APPENDIX	28
II－引用文献	29

目次（2／2）

第Ⅲ章 広島県における光化学オキシダントのシミュレーションとその低減対策	
—地球温暖化に則して—	
Ⅲ－1．緒言	31
Ⅲ－2．方法	35
Ⅲ－3．結果	37
－3.1 NO _x 排出量変動の検討	
－3.2 光化学オキシダントのシミュレーション(基本ケース)	
－3.3 光化学オキシダントのシミュレーション(ケーススタディ)	
Ⅲ－4．考察	55
Ⅲ－5．結言	55
Ⅲ－謝辞	57
Ⅲ－APPENDIX	58
Ⅲ－引用文献	59
第Ⅳ章 総合考察	
Ⅳ－1．地球温暖化対策に関する補助事業以外の事業と海外事例	61
Ⅳ－2．補助事業におけるCO ₂ 削減量実績値とPDCA	62
Ⅳ－3．地球温暖化対策に伴う光化学オキシダント低減	64
Ⅳ－4．温室効果ガスと光化学オキシダント前駆体との関係	65
Ⅳ－引用文献	67
謝辞	68

要旨

本論文は、行政の公開情報に基づいて、地球温暖化対策やこれを考慮した光化学オキシダント対策を評価し、これらの対策への提言を目的としたものである。すなわち、現在の環境問題で特に重要な地球温暖化対策のうち、国の補助事業の費用対効果が全事業に対してどの程度貢献しているのかを評価し、現在でも達成率が低い大気汚染物質（主に光化学オキシダント）について、広島県の地球温暖化対策を考慮したうえでシミュレーションを行い、有効な低減対策を提案した。

第Ⅰ章は「序論」であり、「気候変動に関する政府間パネル」第5次評価や「環境白書」等の国内外の文献をもとに、温室効果ガス、および大気汚染物質に関する現状把握と変動予想事例について整理した。これから、地球温暖化対策に関しては国の補助事業について、大気汚染対策に関しては広島県における光化学オキシダントの低減対策について評価した。

第Ⅱ章は「地球温暖化対策に関する国の補助事業の貢献度とCO₂削減予想」の研究である。本章では、公開データを活用し、国の補助事業によるCO₂削減量が、地球温暖化対策を目的とする全事業に対してどの程度貢献しているのか、補助事業のCO₂削減予想が国のCO₂削減目標に対してどのような位置付けにあるのか、評価を行った。また、CO₂削減単価からCO₂削減量を算定し、短期・中期的なCO₂削減予想と評価を行った。この結果、代表的な補助事業の費用対効果は全事業の2倍近く、補助事業の位置付けは妥当であることが分かった。

第Ⅲ章は「広島県における光化学オキシダントのシミュレーションとその低減対策」の研究である。広島県を例にとり公開データで光化学オキシダントの解析・検討を行った。光化学オキシダントのシミュレーションは解析ソフトADMER-PROを使用し、NO_x 相対排出係数とVOC 相対排出係数をパラメータとして実施した。この結果、光化学オキシダント低減は、前駆体であるNO_x 排出量低減は有効な手段とはなり得ないが、広島地域ではVOC 低減が有効な手段となり得ることが分かった。具体的には、NO_x 排出量を50%低減させた場合、光化学オキシダント濃度は若干変動するだけであるが、人為由来のVOC 排出量を50%低減させた場合、光化学オキシダント濃度は約7%低減が期待できることが分かった。

第Ⅳ章は「総合考察」である。第Ⅱ章、および第Ⅲ章での評価結果を鑑み、地球温暖化対策、および光化学オキシダント低減対策について、今後の課題や本論文の適用範囲等について考察した。地球温暖化対策は海外事例や補助事業以外の事例について考察した。また、光化学オキシダント低減対策は広島県以外への適用の可能性を考察した。さらに、温室効果ガスと光化学オキシダント前駆体との関係について考察した。

本研究により、将来、これらの評価がより精度高く実施され、各々の対策により貢献できるようになることを期待する。

Measures against global warming by taking advantage of administrative public information and the verification of their effect on air pollution reduction

Ikuo Nakatani

Graduate School of Biosphere Science,
Department of Environmental Dynamics and Management,
Hiroshima University

ABSTRACT

This paper aims to evaluate countermeasures to global warming and photochemical oxidants based on public administrative information, and to make proposals for these same countermeasures. In other words, in regard to important global warming countermeasures regarding the present environmental problems in particular, I evaluated how the cost-effectiveness of government-subsidized projects contributes to overall projects, performed a simulation considering, in particular, global warming in Hiroshima Prefecture in regard to the reduction of air pollutants, which has not been achieved at a high success rate (mainly in regard to photochemical oxidants), and proposed effective reduction measures.

Chapter I is the “introduction,” wherein I summarized the current conditions and prediction of greenhouse gases and air pollutants based on both international and domestic literature such as the “IPCC” Fifth Assessment Report and “White Paper on Environment.” Based on this summary, I evaluated government-subsidized projects in regard to global warming countermeasures, specifically reduction measures for photochemical oxidants in Hiroshima Prefecture in regard to air pollution.

Chapter II presents a study on the “contribution of government-subsidized projects on global warming measures and predicted reduction in CO₂”. In this Chapter, I used public data to evaluate the contribution of CO₂ reduction by government-subsidized projects on overall projects, and how the predicted CO₂ reduction by government-subsidized projects measures against the national CO₂ reduction goal. In addition, I calculated the amount of CO₂ reduction from the CO₂ reduction unit and evaluated short-term and mid-term CO₂ reduction predictions. The results showed that the cost-effectiveness of typical government-subsidized projects was twice as high as overall projects, and its evaluation was valid.

Chapter III presents a study on the “simulation on photochemical oxidants in Hiroshima Prefecture and reduction measures.” With Hiroshima Prefecture as the example, I analyzed and examined photochemical oxidants using public data. For the simulation of photochemical oxidants, I used the analytical software, ADMER-PRO,

and the NO_x relative emission coefficient and VOC relative emission coefficient as parameters. The results showed that, for reduction of photochemical oxidants, the reduction of a precursor, or a NO_x emission, cannot be a useful method; however, in the Hiroshima region, VOC reduction can be useful. Specifically, when NO_x emissions are reduced by 50%, the concentration of photochemical oxidants only changes a little, but when anthropogenic VOC emissions are reduced by 50%, the concentration of photochemical oxidants could be reduced by about 7%.

Chapter IV is the “general discussion.” Taking the evaluation results of Chapters II and III into consideration, I discussed future challenges and application ranges of this paper in regard to global warming countermeasures and photochemical oxidant reduction measures. In addition, I discussed the application of photochemical oxidant reduction countermeasures outside of Hiroshima Prefecture. Furthermore, I discussed the relationship between greenhouse gases and photochemical oxidant precursors.

I hope that these evaluations are performed with higher precision in the future, leading to contribution by each measure.

KEY WORD (キーワード)

Global warming countermeasure, CO₂ reduction, Subsidized project,
Photochemical oxidant, Simulation

(地球温暖化対策, CO₂削減, 補助事業, 光化学オキシダント,
シミュレーション)

第 I 章 序論（地球温暖化対策の現状と大気汚染物質の現状・評価事例）

I-1. 背景

2015 年パリで開催された COP21 において、地球温暖化対策として法的拘束力のあるパリ協定が採択され、これを踏まえて日本では 2016 年「地球温暖化対策計画」が閣議決定された（環境省，2016a：環境省，2016b）。

地球温暖化対策の経緯をみると、2005 年に発効された京都議定書の 2008 年～2012 年の第一約束期間で、温室効果ガス排出量を基準年比で 6%削減する約束を遵守すべく、京都議定書目標達成計画を策定して総合的かつ計画的な地球温暖化対策を講じ、この目標を達成した。続く 2013 年以降の第二約束期間には遅れて参加し、第二約束期間の設定について決定した。一方、新たな国際的枠組みであるパリ協定には、主要排出国として国際社会の排出削減を主導する役割も担って参加した。このような状況の中で、国は様々な対策・施策・事業を実施しており、環境省は各府省の関連事業を取りまとめて毎年、公表している。また、近年では、2012 年、石油、石炭、天然ガスといった化石燃料の利用に対して環境負荷、すなわち CO₂ 排出量に応じた費用負担を求める目的で地球温暖化対策税が導入され、2016 年、最終税率への引上げが完了した。

一方、温室効果ガスの世界規模での現状は、国連の組織である IPCC（政府間パネル）から、温室効果ガスの増加状況や近年の気候変動の包括的な評価が行われており、IPCC 第 5 次評価報告書第 2 部作業部会の概要が環境省から公開されている（環境省，2014）。この概要には、評価の要目として、地球温暖化に伴う具体的なリスクや、地球温暖化に対する適応（影響に対する調整過程）の状況等が記載されている。また、温室効果ガスの国内の現状は、大気汚染物質等とともに環境白書・循環型社会白書・生物多様性白書（環境省，2017）に記載されている。これらの文献には、温室効果ガスの増加に伴う地球温暖化が人類に対して極めて深刻な影響を与えることや、地球温暖化対策は場所や状況によって異なり、あらゆる状況で適切な単一のリスク低減方法は存在しないことも記載されている。これは、地球温暖化対策は、地域性や他の環境問題の状況も踏まえて検討すべきであることを示唆している

現在の環境対策の柱である循環型社会システム実現のためには、地球温暖化対策による低炭素社会構築の他、生物圏における大気や水環境の保全も必要である。1960 年代に社会問題となった産業公害の対策は、主な当事者である事業者とこれに対応する行政の努力により一定の成果をあげることができたが、都市化の進展や生活様式の多様化に伴い発生してきた現在の地球温暖化や大気汚染等の環境問題は、当事者や行政のみでは対処することはできず、環境問題に関わりを持つ全ての事業者や市民レベルでの対策や啓発も必要となってきた。

また、これに伴い行政の情報公開化も進んできた。

このため本研究では、行政の公開情報を活用して、地球温暖化対策とそれに伴う大気汚染削減効果の検証を行った。

まず、地球温暖化対策について日本の現状を概括した。次に、地球温暖化対策事業の中で、環境技術者に馴染みの深い国の代表的な補助事業が、全事業に対してどの程度貢献しているのかを、費用対効果および短期的・中期的な CO₂ 削減効果の側面から評価した。

一方、地域性も踏まえて検討されるべき地球温暖化対策の事例として、広島県が取り組んでいる短期的 CO₂ 削減指針のもとで、環境基準達成率が極めて低い光化学オキシダントの低減にどのように取り組むべきかについて検討した。具体的には、通常、地球温暖化対策とは切り離して評価される大気汚染対策について、まず「現状把握」および「変動予測（事例）」を調査した。次に、光化学オキシダントによる大気汚染問題についてレビューを行ったうえで、広島県の地球温暖化対策を考慮したシミュレーションを行い、地域特性が異なる広島地域と福山地域の結果を比較し、各々の地域に対して有効な低減対策を提案した。

I-2. 行政の公開情報

行政の公開情報とは、環境省、経産省、その他府省庁やこれらの外郭団体（国立環境研究所、産業技術総合研究所等）、都道府県・市町村やこれらの外郭団体、またはこれに準じる法人から公開されている環境白書、報告書、パンフレット、インターネット等に掲載された情報であり、一般市民でも入手可能で当該機関によって承認された情報をいう。行政の情報オープン化が進んだ現在では、環境関連の公開情報だけでも膨大な量があるが、以下に本研究と関わりが深い例を示す。

地球温暖化対策関連では、1) 年度別温室効果ガス排出量、2) 温室効果ガス削減目標、3) 地球温暖化対策経費、4) 温暖化対策に関する補助事業制度（補助金額や制度内容）、5) 各地点での CO₂ 濃度実測値、が挙げられる。

一方、光化学オキシダント関連では、1) 同環境基準、2) 同環境基準達成率、3) 同年平均値・常時監視データ（実測値）、4) 気象データ、5) シミュレーションソフト（但し、オープンソフトウェア）やその使用マニュアル、が挙げられる。

上記のとおり、公開情報は、数値データの外、シミュレーションソフト、行政による施策や経費等も含まれるものとする。

I-3. 地球温暖化対策の現状概括

国の温室効果ガス削減目標は、以下のとおり設定されており、都道府県でもこれに準じて削減目標が設定されている。

短期目標：2020 年度に 2005 年度比 3.8%削減

中期目標：2030 年度に 2013 年度比 26.0%削減

また、温室効果ガスの現状に関して、国（環境省）は国連気候変動枠組条約事務局に排出量を毎年報告することとなっており、このデータは2～3年程度の遅れはあるが公開されている（環境省，2016c）。この報告による直近10年間の温室ガス排出量を図 I-1 に示す。

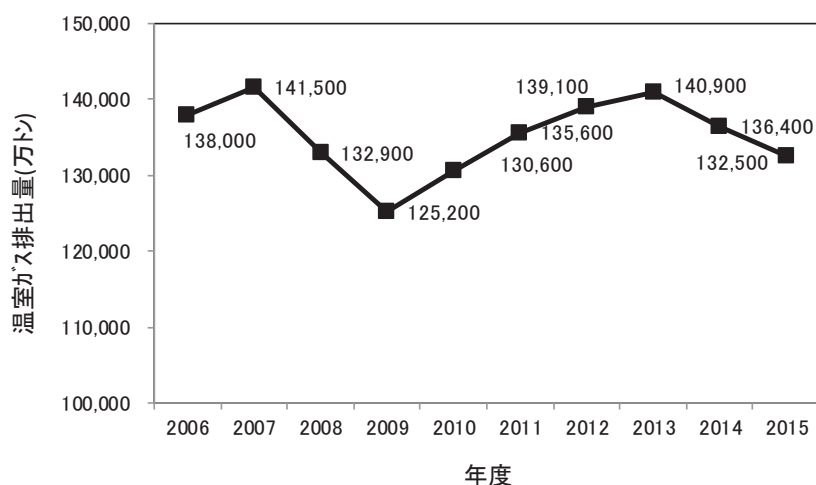


図 I-1 日本の温室ガス排出量（環境省，2016c）

2011年3月、東日本大震災が発生したため、2012年度の温室効果ガス排出量の激変も予想されたが、約4%の増加（135,600/130,600）に留まった。この原因として、国内の主要原発が停止して火力発電所等からのCO₂排出量が増加した一方、電力需給関係が逼迫して省エネが徹底されたことが相殺したためと考えられる。温室効果ガス排出量は、工業等の産業部門、自動車等の運輸部門等、部門別内訳も含めて公開されており、各都道府県における排出量も公開されている。すなわち、温室効果ガスに関する現状把握は、大気汚染物質のように大気中濃度を計測して行われている訳ではなく、環境省や都道府県から公開される温室効果ガス排出量により行われている。

一方、温室効果ガスの大気中濃度に関して、気象庁から「二酸化炭素濃度の経時変化」（気象庁，2018a）が公開されており、2016年、温室効果ガスの90%以上を占めるとされるCO₂の世界の平均濃度は、前年と比べて3.3ppm増えて403.3ppmとなっている。同文献には、気象庁の国内観測地点である綾里、南鳥島及び与那国島における大気中のCO₂濃度と、その時系列濃度が示されており、いずれの観測地点においても、季節変動はあるがCO₂濃度は経年的に増加してい

る。各観測地点における CO₂ 濃度を図 I - 2 に示す。

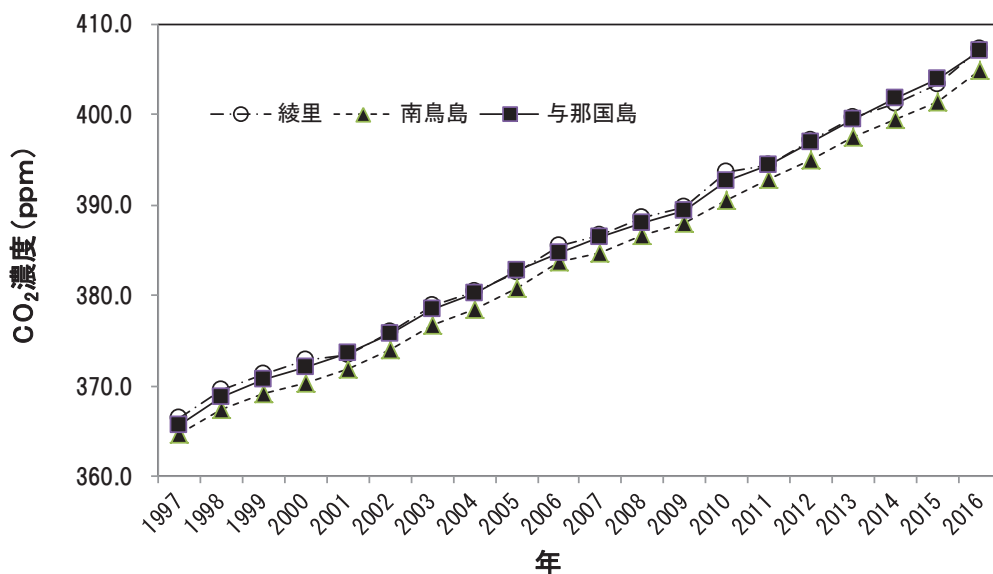


図 I - 2 各観測地点における CO₂ 濃度 (気象庁, 2018a)

大気中の CO₂ 濃度と地球温暖化の相関評価 (変動予測) や CO₂ 排出量と大気中の CO₂ 濃度の相関評価 (変動予測) は, 大型計算機を使用してシミュレーションを実施した例 (釜江, 2014) やエクセルで簡易的に計算した例 (神足, 2009) 等, 多数存在する。これらの評価は CO₂ 削減目標を検討・設定する際の根拠となっている。

温室効果ガスに関する現状把握や削減目標は, 世界規模でも IPCC で総括的に評価されており, IPCC において将来予測を含めた温暖化要因の検討も実施されている。したがって, 市民レベルで必要な対策は, 様々な活動・事業において, 国や都道府県の温室効果ガス削減目標を守ることに尽きる。このため, 温室効果ガス対策に関しては, 関連する様々な活動・事業のうち, 多額の税金により賄われている「国の補助事業」を評価して第 II 章に示した。

I - 4. 大気汚染物質の現状把握と変動予測

I - 4.1 現状把握 (環境基準と達成率)

大気汚染に係る環境基準として, 昭和 40 年代に二酸化硫黄, 一酸化窒素, 浮遊粒子状物質, 二酸化窒素および光化学オキシダントの 5 物質が, 平成 21 年には微小粒状物質に係る環境基準が定められた。これらの基準を 2015 年度の環境基準達成率 (環境省, 2018a) と併せて表 I - 1 に示す。

表 I - 1 大気汚染環境物質と環境基準達成率/2015 年度（環境省，2018a）

大気汚染物質	環境上の条件	環境基準達成率*
二酸化いおう (SO ₂)	1時間値の1日平均値が 0.04ppm 以下であり、かつ、1時間値が 0.1ppm 以下であること。	一般局:99.9% 自排局:100%
一酸化炭素 (CO)	1時間値の1日平均値が10ppm 以下であり、かつ、1時間値の8時間平均値が 20ppm 以下であること。	一般局:100% 自排局:100%
浮遊粒子状物質 (SPM)	1時間値の1日平均値が 0.10mg/m ³ 以下であり、かつ、1時間値が 0.20mg/m ³ 以下であること。	一般局:99.6% 自排局:99.7%
二酸化窒素 (NO ₂)	1時間値の1日平均値が0.04ppmから0.06ppmまでのゾーン内又はそれ以下であること。	一般局:100% 自排局:99.8%
光化学オキシダント(Ox)	1時間値が 0.06ppm 以下であること。	一般局:0% 自排局:0%
微小粒子状物質 (PM2.5)	1年平均値が 15 μg/m ³ 以下であり、かつ、1日平均値が 35 μg/m ³ 以下であること。	一般局:74.5% 自排局:58.4%

* 一般局：一般環境大気測定局，自排局：自動車排出ガス測定局

上記「環境上の条件濃度」以外，大気汚染物質濃度の速報値は，大気汚染物質広域監視システム「そらまめ君」（環境省，2018b）でも確認することができる。「そらまめ君」は，現在を含めて直近過去 1 週間の速報値を確認することができる。

また，PM2.5，および光化学オキシダントの 2 物質に限られるが，大気汚染予測システム「Venus」（国立環境研究所，2018）でも速報値を確認することができる。「Venus」は，速報値の他，2 日後までの濃度の変動予測を確認することができる。

さらに，PM2.5 の速報値は，大気汚染予測数値モデル「SPRINTARS」（九州大学，2018），光化学オキシダントの速報値は，光化学スモッグ気象予測モデル（気象庁，2018b）でも確認することができる。

上記のとおり，大気汚染物質の現状把握は，速報値や短期将来の変動予測も含めて行政や主要大学から十分な情報が公開されている。

光化学オキシダントは，昭和 40 年代に環境基準が定められ，これまでに数多くの改善対策が実施されたにも拘らず環境基準の達成率は極めて低い。このため，今後も大気汚染モデルにより，短期予測に限らない変動予測を行い，様々な改善対策を検討することが必要である。

一方，PM2.5 の環境基準の達成率も充分ではないが，この環境基準は平成 21 年に定められたもので，現状，成分自体の分析方法や大気汚染モデルの改良が繰り返されている状況であり，一事業者や市民レベルで変動予測，すなわち改

善対策の検討ができる段階にはない。

その他の大気汚染物質は、環境基準に対して100%、または100%近い達成率であり、これらの変動予測や改善対策は喫緊の課題にはなっていない。

以上より、大気汚染物質の変動予測の整理は主に光化学オキシダントについて行うものとし、PM2.5は関連する事項で参考として記載する。

I-4.2 光化学オキシダント変動予測の評価事例

大気汚染モデルによる変動予測は、前駆体である窒素酸化物（以下「NO_x」）や揮発性有機化合物（以下「VOC」）、二酸化硫黄、アンモニア等の排出量目録（排出インベントリー）を推定し、様々な改善対策による効果を評価するものであり、その方法によって、シミュレーションモデル、統計モデル、および実験モデルに大別される（大原，2017）。

シミュレーションモデルは、排出インベントリーや気象データを主な入力条件として物質輸送や化学反応の基礎式を計算して変動予測を行うものであり、オープンソフトウェアとして公開されているものもある。但し、前駆体の排出量が不明、化学輸送形態が複雑等の理由により、実施する場合は高度な解析技術を必要とする場合が多い。

統計モデルは、実測値に基づいて統計的処理により変動予測を行うものであり、一定の精度を確保するためには膨大な実測値が必要なため、行政の公開情報のみでは十分な評価ができない場合もある。

実験モデルは、風洞や模型により変動予測を行うものであり、大なり小なり専用設備や実験のための予算が必要である。

このため変動予測の評価事例は、シミュレーションモデルや統計モデルにより改善対策による効果が確認できるものを取り上げ、実験モデルは対象外とした。なお、シミュレーションモデルであっても、輸送経路の特定が主目的である流跡線解析は除外した。

I-4.2.1 広域的な研究機関による評価事例

広域的な研究機関による評価事例とは、環境省、国立環境研究所、産業技術総合研究所（以下「産総研」）、電力中央研究所（以下「電中研」）等による変動予測の評価事例であり、特定の一地方を対象としたものではなく、光化学オキシダントによる大気汚染の影響が大きいとされる大都市圏、すなわち関東地域を始めとした、東海地域、阪神地域等、対象地域が広域的なものである。光化学オキシダントは越境汚染の影響も大きいとされ、対象は九州地域も含まれている場合が多い。これらの評価事例のうち、直近10年程度で汎用性が比較的高いと思われる事例について以下に記載した。

- (1) 評価事例 1, および 2 は, 環境省が主宰し, 国立環境研究所の研究者が座長を務める「光化学オキシダント検討会」の文献である(光化学オキシダント調査検討会, 2017; 光化学オキシダント調査検討会, 2014)。評価事例 1 は, 米国環境保護庁が開発したシミュレーションモデル CMAQ (Community Multiscale Air Quality modeling system) を使用している。CMAQ はオープンソフトウェアであるが, OS/Linux の応用技術が必要であり, 一般的な Windows ソフトやその知識のみで使用できる訳ではない。評価事例 2 は統計モデルを使用した国内の主要工業地帯の評価である。なお, 評価事例 1, および 2 は, 前身の「光化学オキシダント・対流圏オゾン検討会」が 2007 年に実施した調査の流れを汲むものである。
- (2) 評価事例 3, および 4 は, 産総研の文献である(井上ら, 2010; 井上ら, 2015)。評価事例 3 のシミュレーションモデルは, 産総研が開発した ADMER-PRO を使用している。ADMER-PRO もオープンソフトウェアであるが, CMAQ と異なり一般的な Windows ソフトで使用可能である。評価事例 4 は, この暫定版(推定)を使用し, モデルの検証も含めた評価を行っている。
- (3) 評価事例 5 は, 電中研の文献である(速水, 2012)。評価事例 5 は, 光化学オキシダントの国内外発生源の寄与解明が主目的であり, シミュレーションモデルは CMAQ, および米国 ENVIRON 社が開発した CAMx (Comprehensive Air Quality Model with Extensions) を使用して両モデルの比較も行っているが, 変動予測を主目的としたものではない。
- 以上を対象年や対象地域も含めて整理し, 表 I-2 に纏めた。

表 I - 2 光化学オキシダント変動予測/評価事例（広域的事例）

No.	実施 主体(年)	対象 年	対象 地域	大気汚染モデル	排出インベ ントリ DataBase	変動予測概要
1	光化学 オキシダント 検討会 (2017)	2008 ～ 2010	関東地域 九州地域	シミュレーションモデル: CMAQ	JEI-D.B. (石 油エネルギー技 術センターD.B.)	・NO _x ,VOC 感度解析 (関東地区) ・東アジア大陸発生源 NO _x , VOC 影響評価(越境評価)
2	光化学 オキシダント 検討会 (2014)	1990 ～ 2012	関東地域 東海地域 阪神地域 九州地域	統計モデル	—	・NO _x ,VOC 経年低減の影響 評価 ・VOC/NO _x 比の影響評価 ・越境汚染経年増加の評価
3	産総研 (2015)	2005	関東地方 近畿地方	シミュレーションモデル: ADMER-PRO	EAGrid2000- Japan 修正版 D.B.	・シミュレーションモデル検証
4	産総研 (2010)	2002	関東地方	シミュレーションモデル: ADMER-PRO の 暫定版(推定)	EAGrid2000- Japan 修正版 D.B.	・NO _x ,VOC 感度解析 ・シミュレーションモデル検証
5	電中研 (2012)	2007	関東地区 九州沖縄 地区	シミュレーションモデル: CMAQ,CAMx	INTEX-B(the international chemical transport experiment phase B)	・国内外の発生源寄与評価

I-4.2.2 地域的な研究機関による評価事例

地域的な研究機関による評価事例とは、地方環境研究所や公設試験研究機関等による変動予測の評価事例であり、市民レベルでのより身近な対策提案が期待できる。

主な地方環境研究所は、光化学オキシダントや PM2.5 の状況解明に関して国立環境研究所と共同研究を行っており、情報共有は図られていることになっている。しかし、各地方環境研究所の地域性を考慮した評価事例は当然、各地域独自のものであり、また、各地方環境研究機関の予算や体制により評価事例の内容には少なからず差異がある。

これらの評価事例のうち、直近 10 年程度で汎用性が比較的高いと思われる事例について以下に記載した。なお、事例番号は前項と区別するため符番を 10 番代とした。

- (1) 評価事例 11, および 12 は、東京都環境科学研究所の文献である（上野ら, 2015 ; 星, 2013)。何れも実測値による統計モデルを使用している。東京都では 10 年以上前から、長期間の実測値に基づき、毎年のように光化学オキシダントや PM2.5 に関する調査研究が行われている。
- (2) 評価事例 13 は、埼玉県環境部大気環境課の文献である（西川ら, 2012)。シミュレーションモデルは CMAQ を使用している。
- (3) 評価事例 14 は、名古屋市環境科学調査センターの文献である（荒川ら, 2015)。シミュレーションモデルは ADMER-PRO を使用しており、産総研の事例以外で ADMER-PRO を使用した初の公開事例であると想定される。
- (4) 評価事例 15 は、大阪府立環境農林水産総合研究所の文献である（山本, 2014)。実測値による統計モデルを使用しており、大阪府も東京都と並んで長期間の実測値に基づき調査研究が行われている。
- (5) 評価事例 16 は、兵庫県環境研究センターの文献である（坂本ら, 2010)。シミュレーションモデルは CMAQ を使用しており、シミュレーションの実施は共同著者の大阪大学（教官）が支援しているものと思われる。
- (6) 事例 Ref. は、評価事例ではないが、千葉県環境審議会大気環境部会の文献（千葉県環境審議会大気環境部会, 2011）であり、地方環境研究所の立場から大気汚染モデルの様々な検討について纏められているため参考として記載する。

以上を対象年や対象地域も含めて整理し、表 I-3 に纏めた。

表 I - 3 光化学オキシダント変動予測/評価事例（地域的事例）

No.	実施 主体(年)	対象 年	対象 地域	大気汚染モデル	排出インベン トリー DataBase	変動予測概要
11	東京都環境 科学研究所 (2015)	2000 ～ 2011	東京都 埼玉県 関東全域	統計モデル	—	・VOC/NO _x 比の影響評価
12	東京都環境 科学研究所 (2013)	1998 ～ 2011	関東地域	統計モデル	—	・VOC 排出量の影響評価
13	埼玉県 環境部 (2012)	2008	埼玉県	シミュレーションモデル: CMAQ	明示無	・NO _x ,VOC 感度解析
14	名古屋市 環境科学 C (2015)	2005	名古屋市	シミュレーションモデル: ADMER-PRO	ADMER-PRO 内蔵 D.B.	・シミュレーションモデル検証 ・NO _x ,VOC 感度解析
15	大阪府立 環農水研 (2014)	1988 ～ 2008	大阪府	統計モデル	—	・NO _x ,VOC 感度解析
16	兵庫県 環境研究 C (2010)	2008	兵庫県	シミュレーションモデル: CMAQ	EAGrid2000- Japan 修正版 D.B.	・兵庫県全域の光化学オキシ ダント分布
Ref.	千葉県環境 審議会 (2011)	2007	—	シミュレーションモデル: CMAQ(他)利用 の提案	—	・大気汚染モデルの行政 利用時の比較評価

I-4.3 評価事例のマッピングと課題

本研究で纏めた評価事例を「広域的」、「地域的」、「統計モデル」、および「シミュレーションモデル」に区分してマッピングし、図I-3に示した。

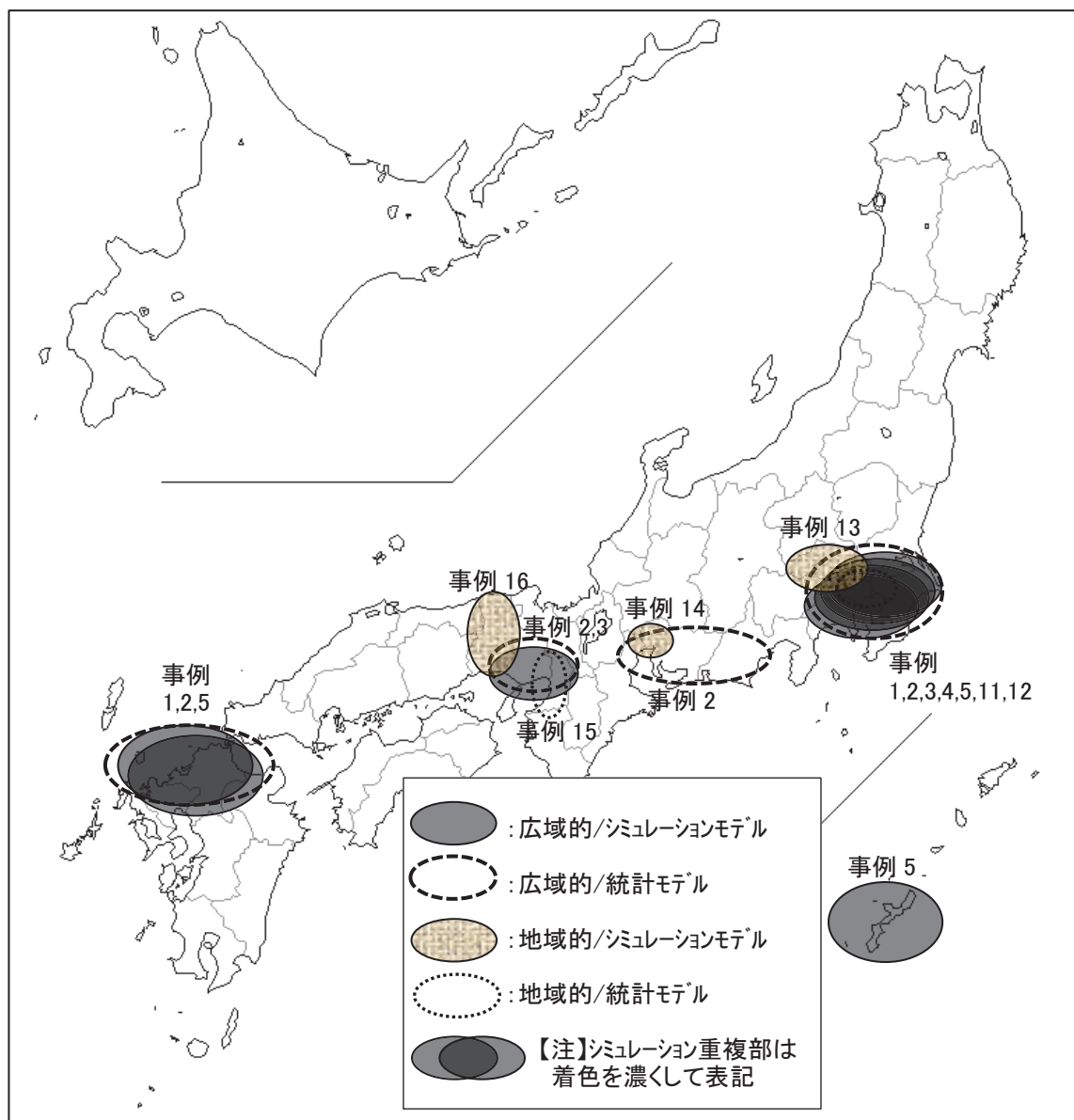


図 I - 3 光化学オキシダント評価事例マッピング

図I-3から、評価事例の対象地域は、いわゆる太平洋ベルト地帯に集中していることが分かる。日本の人口や工業生産額が集中する同地帯に光化学オキシダントの評価事例が集中するのは当然といえる。

特に北九州工業地帯も含む「四大工業地帯」では、各々の地域で複数の評価事例があり、広域的な評価以外、地方環境研究所でも光化学オキシダント対策

のための積極的な評価が実施されている。

一方、太平洋ベルト地域の中で目に付くのは、工業生産額が比較的大きい瀬戸内工業地域が評価事例の空白地帯になっていることである。この地域は、西日本でもあり、光化学オキシダントやPM2.5に関する越境汚染の影響は九州地区と並んで大きいとされる。瀬戸内海工業地域で過去、後方流跡線解析が実施された例はあるが（広島県立総合技術研究所保健環境センター，2007），NO_xをパラメータとする変動予測を行った事例は見当たらない。このため，第Ⅲ章で，広島県における光化学オキシダントのシミュレーションとその低減対策に関する評価を行った。

I－5．研究目的

本研究は，循環型社会システム実現のためには全ての事業者や市民レベルでの対策や啓発が必要となってきたことを鑑み，行政の公開情報を活用して，地球温暖化対策とそれに伴う大気汚染削減効果の検証を行うことを目的としている。

I－引用文献

- 荒川翔太・山神真紀子・高柳聡子（2015）「光化学オキシダントの NO_x, VOC 排出量削減による改善効果の推定」『名古屋市環境科学調査センター年報』第 3 号, pp. 36-41.
- 千葉県環境審議会大気環境部会（2011）「窒素酸化物対策に係るシミュレーションモデルについて」『2011 年 2 月 23 日開催議事録 資料 2-2』pp. 1-27.
- 井上和也・安田龍介・吉門洋・東野晴行（2010）「関東地方における夏季地表オゾン濃度の NO_x, VOC 排出量に対する感度の地理分布」『大気環境学会誌』第 45 巻第 5 号, pp. 183-194.
- 井上和也・東野晴行（2015）「2 次生成対応大気モデル ADMER-PRO の開発と検証」『大気環境学会誌』第 50 巻第 6 号, pp. 278-291.
- 釜江陽一（2014）「CO₂ 濃度上昇による直接的な大陸上の気温上昇が気候変化に果たす役割」『地球環境センターニュース』第 25 巻第 3 号, pp. 1.
- 神足史人（2009）『Excel で操るここまでできる科学技術計算』丸善出版, pp. 161-170.
- 環境省（2014）「IPCC 第 5 次評価報告書の概要－ 第 2 作業部会（影響, 適応, 及び脆弱性）－」,
http://www.env.go.jp/earth/ipcc/5th/pdf/ar5_wg2_overview_presentation.pdf, 2018 年 5 月 11 日閲覧.
- 環境省（2016a）「地球温暖化対策計画の閣議決定について」,
<http://www.env.go.jp/press/102512.html>, 2017 年 4 月 1 日閲覧.
- 環境省（2016b）「地球温暖化対策推進法と地球温暖化対策計画」,
<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/domestic.html>, 2017 年 4 月 8 日閲覧.
- 環境省（2016c）「2015 年度（平成 27 年度）の温室効果ガス排出量（確報値）」,
http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg-mrv/emissions/results/material/kakuhou_gaiyo_2015.pdf, 2018 年 1 月 13 日閲覧.
- 環境省（2017）『平成 29 年度版環境白書・循環型社会白書・生物多様性白書』
- 環境省（2018a）「大気汚染に関する環境基準」,
<http://www.env.go.jp/kijun/taiki.html>, 2018 年 1 月 20 日閲覧.
- 環境省（2018b）「大気汚染物質広域監視システム<そらまめ君>」,
<http://soramame.taiki.go.jp/DataJokyo.php>, 2018 年 1 月 13 日閲覧.
- 気象庁（2018a）「二酸化炭素濃度の経時変化」,
http://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/ghgp/co2_trend.html,
2018 年 1 月 20 日閲覧.
- 気象庁（2018b）「光化学スモッグ気象予測モデル」,
http://ds.data.jma.go.jp/pco/mri_ccm2/index.html, 2018 年 1 月 6 日閲覧.

- 九州大学 (2018) 「大気中の浮遊粒子状物質等の数値モデル SPRINTERS」,
<http://sprintars.riam.kyushu-u.ac.jp/>, 2018年1月20日閲覧.
- 国立環境研究所 (2018) 「大気汚染予測システム Venus」,
<http://venus.nies.go.jp/>, 2018年1月27日閲覧.
- 光化学オキシダント調査検討会 (2014) 「光化学オキシダント調査検討会報告書」,
https://www.env.go.jp/air/osen/pc_oxidant/conf/chosa/h25_rep-1.pdf,
2017年12月13日閲覧.
- 光化学オキシダント調査検討会 (2017) 「光化学オキシダント調査検討会報告書」,
<http://www.env.go.jp/air/osen/oxidant/report-201703.pdf>,
2017年12月20日閲覧.
- 速水洋 (2012) 「わが国の光化学オキシダントに対する国内外発生源寄与の解析」
『電力中央研究所研究報告』 V11053, pp. 1-13.
- 広島県立総合技術研究所保健環境センター (2007) 「広島県の瀬戸内沿岸域にお
ける夏季晴天時の光化学オキシダント日最高濃度と後方流跡線との関連性」
『広島県立総合技術研究所保健環境センター研究報告』 No. 15, pp. 5-9.
- 星純也 (2013) 「光化学大気汚染の現状－発生源の変化と常時監視データを中心
として－」『大気環境学会誌』 第48巻第3号, pp. 171.
- 西川達弥・森康彰・河見博文 (2012) 「埼玉県内の光化学オキシダント濃度に与
える NO_x-VOC 排出量削減量効果の検討」『大気環境学会年会講演要旨集』 第
53回, pp. 367.
- 大原利真 (2017) 「大気汚染の排出インベントリとモデリング：概説」『大気環
境学会誌』 第52巻第3号, pp. A67-A71.
- 坂本美德・嶋寺光・瀬戸文久・近藤明・Shrestha Kundan Lal・加賀昭和・井上
義雄・平木隆年 (2010) 「数値解析による兵庫県内の光化学オキシダントの濃
度分布及び季節変動要因の検討」『大気環境学会誌』 第45巻第2号, pp. 89-95.
- 上野広行・斉藤伸治・国領和夫 (2015) 「関東地方の夏季高濃度 O_x の長期的濃
度変動要因の検討と前駆体物質濃度削減効果の予測評価」『大気環境学会誌』
第50巻第6号, pp. 257-265.
- 山本勝彦 (2014) 「大阪における光化学オキシダント生成レジームに関する考
察」『大阪府立環境農林水産総合研究所研究報告』 第1号, pp. 9-14.

第Ⅱ章 地球温暖化対策に関する国の補助事業の貢献度とCO₂削減予想

Ⅱ－1. 緒言

国や地方公共団体が所管する地球温暖化対策の事業は多額の税金により賄われるものであり、大規模な効果をもたらすことが期待される。このうち、本研究では、環境技術に関する補助事業に注目した。

補助事業は、京都議定書の第一約束期間当初、温室効果ガス6%の削減目標に直接効果がある事業に重点が置かれており、現在では廃止された「小規模地方公共団体の技術導入事業」等にも予算が割り当てられていた。また、風力、太陽光など新エネルギー対策にも重点が置かれていた。第一約束期間完了後は、2020年までに温室効果ガス削減に効果がある事業に重点が移り、技術革新や東日本大震災の影響も踏まえ、新たに「再生可能エネルギー導入事業」等が加えられた。

ここで、日本では温室効果ガスのうち90%以上がCO₂であること等により、以下では厳密な定義の記載部分を除いて、温室効果ガス削減とCO₂削減とは特に区別しないこととする。

CO₂削減は省エネルギー対策と表裏一体の関係にあり、エネルギー自給率が2012年現在、僅か約6%と低い日本（経済産業省、2016）では、CO₂削減と併せて省エネルギーへの取り組みも国策として行われている。このため「エネルギー使用合理化事業」等、省エネルギーにも関わる補助事業は、京都議定書発効以前から存続している。このように、地球温暖化対策に関する補助事業制度は、実勢に応じた柔軟な施策となっている。

環境技術者が補助事業を実施する場合、最重要事項は言うまでもなく各補助事業における成果目標の達成であり、事業完了後、所管省庁へ何らかの成果報告が義務付けられている。一方、個々の補助事業によるCO₂削減量が、地球温暖化対策を目的とする全事業に対してどの程度貢献しているのかを評価した事例は極めて少ない。

本研究はこのような状況を鑑み、その概略評価の具体的事例を示したものである。

Ⅱ－1.1 国のCO₂削減目標

評価に先立ち、国のCO₂削減目標について整理する。CO₂削減目標は、東日本大震災以後エネルギー政策の再検討を踏まえて以下のとおり設定されている（環境省、2016a）。

2020年目標（以下「短期目標」）：

- ・2020年度に2005年度比3.8%削減

2030年目標（以下「中期目標」）：

- ・2030年度に2013年度比26.0%削減

（上記がパリ協定に基づく目標）

2050年目標（以下「長期目標」参考扱い）：

- ・2050年までに1990年比，またはより最近の複数の年との比80%削減（環境省，2015）

これらに基づいて，各基準年のCO₂の排出量実績を表Ⅱ-1に示した（環境省，2016b）。また，直近の基準年，すなわち中期目標の基準年である2013年のCO₂排出量1405×10⁶ tonを相対値100とし，各目標における排出量相対値，排出量削減率，および基準年比削減率も表Ⅱ-1に加えた。なお，以下では厳密な定義の記載部分を除いて「年」と「年度」は特に区別しないこととする。

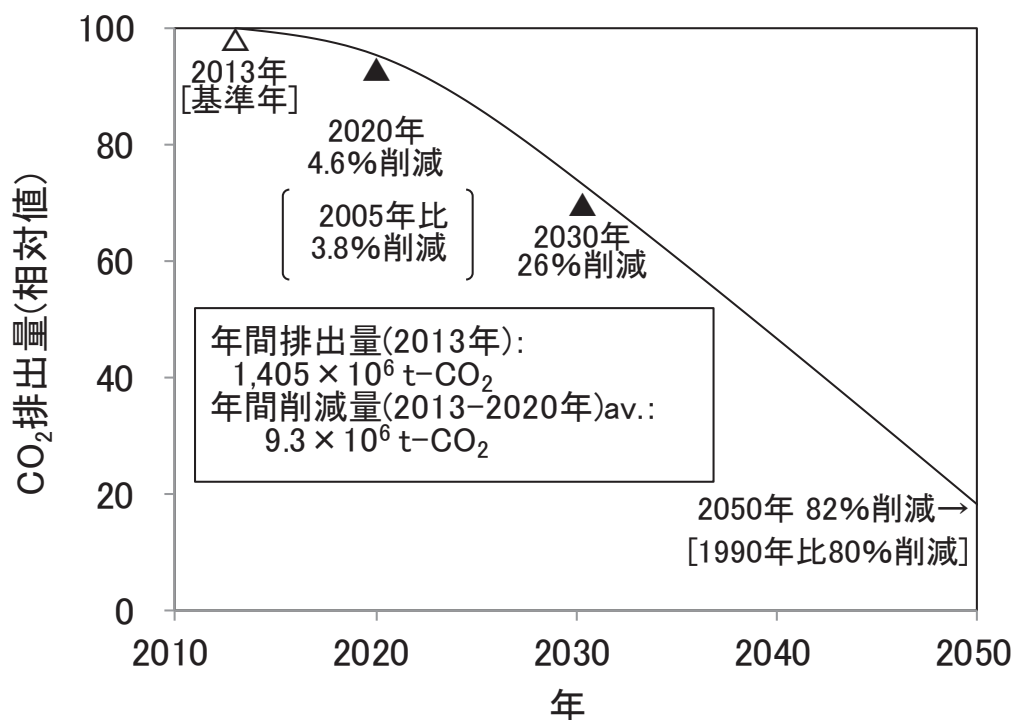
表Ⅱ-1 国のCO₂削減目標

項目/年		実績				目標			
		1990	2005	2013	2016	2020	2030	2050	
排出量	[10 ⁶ t-CO ₂]	1,266	1,393	1,405	2017/10 現在 未公開	1,340	1,040	253	
	2013年比	相対値	—	—		100.0%	95.4%	74.0%	18.0%
		削減率	—	—		—	4.6%	26.0%	82.0%
基準年比 削減率	短期目標		基準年	→		3.8%			
	中期目標			基準年	→		26.0%		
	長期目標	基準年*	→						80.0%

環境省(2016c)文献を編集

*基準年は1990年またはより最近の複数の年

上記のとおり，国のCO₂削減目標は複数存在するが，これらは本来，経年的に連続性を持つべきものである。このため，CO₂削減目標は，表Ⅱ-1に示す排出量相対値を考慮・補間したスプライン関数として，図Ⅱ-1に示した。



図Ⅱ－１ 国のCO₂削減目標

ここで、短期目標までの7年間（2013年～2020年）における年間CO₂削減量の平均値は、表Ⅱ－1から各々の年のCO₂排出量を読み取り式(1)のように算出した。

$$(1405 - 1340) \times 10^6 / 7 = 9.3 \times 10^6 \text{ t-CO}_2 \text{ --- (1)}$$

また、電力中央研究所の調査報告（木村，2016）（以下「電中研報告」）によると、近年の国の地球温暖化対策経費は年間平均で約6,100億円であるが、官民計の全事業経費はこれと同額相当の地方公共団体の経費（朝野，2010）、および金額不明な民間投資が加わると1兆円を超えるものと想定される。

これから、本研究では国の年間CO₂削減目標（短期目標）の目安は、全事業で1兆円超の投資に対して、 $9.3 \times 10^6 \text{ t-CO}_2$ 削減と想定した。

Ⅱ－1.2 国の地球温暖化対策経費

国の地球温暖化対策に関する経費は年度によって増減するが、東日本大震災の影響も残るため当面急減することは考え難い。環境省によると2017年度の国の地球温暖化対策予算は約8,200億円である（環境省，2017）。

国の全事業から補助事業のみ取り出したデータは、各府省の資料には見当た

らないが、地方経済産業局が「エネルギー・温暖化対策に関する補助金等ガイドブック（以下「ガイドブック」）をまとめている（関東経済産業局，2017）。本研究では関東経済産業局のガイドブックに記載された補助事業に着目して評価を行った。

ガイドブックによると補助事業は85事業あり、全85補助事業の予算は2,751億円である。また、補助事業の予算、事業目的、事業概要等がガイドブックに一件一葉の様式で記載されている。各補助事業を予算順に並び替え、予算上位10位までの補助事業、および予算下位であっても本研究で評価する補助事業を、所管府省、分野と併せて表Ⅱ－2に示した。なお、その他の予算下位の事業はひと括りにした。

表Ⅱ－2 地球温暖化対策に関する国の補助事業一覧（2017年度）

[単位:億円]

No.	事業名	所管	各予算		分野
—	省エネルギー投資促進に向けた支援補助金(以下、旧4事業の合体)		673	—	
1	・エネルギー使用合理化等事業者支援補助金【エネ合】	経産省	上記 按分値	391	省エネ
2	・ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス(ZEH)の導入支援【ZEH】			200	
19	・ネット・ゼロ・エネルギー・ビル(ZEB)の実証支援			38	
17	・住宅の断熱改修による省エネ化(省エネリフォーム)の支援			43	
3	クリーンエネルギー自動車導入事業費補助金【CEV】	経産省	123	—	自動車
4	燃料電池の利用拡大に向けたエネファーム等導入支援事業費補助金<FC>	経産省	94	—	燃料電池
5	革新的な省エネルギー技術の開発促進事業<革エネ>	経産省	80	—	省エネ
6	再生可能エネルギー電気・熱自立的普及促進事業【再エネ】	環境省	80	—	再エネ
7	CO ₂ 排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業	環境省	65	—	省エネ
8	地域の特性を活かしたエネルギーの地産地消促進事業費補助金	経産省	63	—	省エネ
9	脱フロン社会構築に向けた業務用冷凍空調機器省エネ化推進事業	環境省	63	—	省エネ
10	トラック・船舶等の運輸部門における省エネルギー対策事業費補助金	経産省	62	—	実証事業
11~20	CCSによるカーボンマイナス社会推進事業、他	各府省	381	—	各分野
21	先進対策の効率的実施によるCO ₂ 排出量大幅削減事業【先進C】	環境省	37	—	省エネ
22~34	賃貸住宅における省CO ₂ 促進モデル事業、他	各府省	326	—	各分野
35	省エネルギー設備投資に係る利子補給金助成事業費補助金【利子】	環境省	19	—	利子補給
36~85	調査事業や啓発事業等であって小予算の事業	各府省	687	—	各分野
補助事業予算合計			2751	—	

関東経済産業局(2017)文献を編集
 数値丸めにより事業合計が各事業集計に完全に一致しない場合あり
 凡例【エネ合】:代表事業簡略名、<革エネ>:参照事業簡略名

表Ⅱ－2において「省エネルギー投資促進に向けた支援補助金」事業は予算が673億円と突出しているが、これは前年までの旧4事業の合体事業であり（関東経済産業局，2016），評価を実施するうえで、旧4事業に再分割し、予算は旧予算に基づいて按分した。なお、表Ⅱ－2におけるNo.は各補助事業の予算順位である。後述のとおり、全85補助事業を代表して評価する補助事業を代表事業、代表事業以外で参照する補助事業を参照事業として記載した。なお、【】内は代表事業簡略名、<>内は参照事業簡略名を示す。また、本文中では、これらは事業略称の前に予算順位も併記した。

ここで参考のため、表Ⅱ－２において予算順位が50番台までを詳細表として表Ⅱ－２－Aに示す。

表Ⅱ－２－Ａ 地球温暖化対策に関する国の補助事業一覧＜詳細＞2017年度

[単位:億円]					
No.	事業名	所管	各予算	分野	
ー	省エネルギー投資促進に向けた支援補助金(以下、旧4事業の合体)	経産省	673	ー	
1	・エネルギー使用合理化等事業者支援補助金【エネ合】		391	省エネ	
2	・ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス(ZEH)の導入支援【ZEH】		200		
19	・ネット・ゼロ・エネルギー・ビル(ZEB)の実証支援		38		
17	・住宅の断熱改修による省エネ化(省エネリフォーム)の支援		43		
3	クリーンエネルギー自動車導入事業費補助金【CEV】	経産省	123	ー	自動車
4	燃料電池の利用拡大に向けたエネファーム等導入支援事業費補助金<FC>	経産省	94	ー	燃料電池
5	革新的な省エネルギー技術の開発促進事業<革エネ>	経産省	80	ー	省エネ
6	再生可能エネルギー電気・熱自立的普及促進事業(経済産業省連携事業)【再エネ】	環境省	80	ー	再エネ
7	CO ₂ 排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業	環境省	65	ー	省エネ
8	地域の特性を活かしたエネルギーの地産地消促進事業費補助金	経産省	63	ー	省エネ
9	脱フロン社会構築に向けた業務用冷凍空調機器省エネ化推進事業	環境省	63	ー	省エネ
10	トラック・船舶等の運輸部門における省エネルギー対策事業費補助金	経産省	62	ー	実証事業
11	CCSIによるカーボンマイナス社会推進事業	環境省	60	ー	その他
12	再エネ等を活用した水素社会推進事業	環境省	55	ー	燃料電池
13	業務用施設等における省CO ₂ 促進事業	環境省	50	ー	省エネ
14	地域低炭素投資促進ファンド事業	環境省	48	ー	再エネ
15	未利用エネルギーを活用した水素サプライチェーン構築実証事業	経産省	47	ー	実証研究
16	燃料電池自動車の普及促進に向けた水素ステーション整備事業費補助金	経産省	45	ー	設備導入
18	セルロースナノファイバー(CNF)等の次世代素材活用推進事業	環境省	39	ー	省エネ
20	物流分野におけるCO ₂ 削減対策促進事業	環境省	37	ー	省エネ
21	先進対策の効率的実施によるCO ₂ 排出量大幅削減事業【先進C】	環境省	37	ー	省エネ
22	賃貸住宅における省CO ₂ 促進モデル事業	環境省	35	ー	省エネ
23	エネルギー起源CO ₂ 排出削減技術評価・検証事業	環境省	34	ー	その他
24	地方公共団体カーボン・マネジメント強化事業	環境省	32	ー	省エネ
25	低炭素型ディーゼルトラック普及加速化事業	環境省	30	ー	省エネ
26	公共施設等先進的CO ₂ 排出削減対策モデル事業	環境省	26	ー	省エネ
27	未来のあるべき社会・ライフスタイルを創造する技術イノベーション事業	環境省	25	ー	省エネ
28	公共交通機関の低炭素化と利用促進に向けた設備整備事業	環境省	23	ー	その他
29	水力発電の導入促進のための事業費補助	経産省	21	ー	実証事業
30	低炭素型廃棄物処理支援事業	環境省	20	ー	廃棄物
31	LED照明導入促進事業	環境省	20	ー	省エネ
32	CO ₂ 削減ポテンシャル診断推進事業	環境省	20	ー	省エネ
33	木材利用による業務用施設の断熱性能効果検証事業	環境省	20	ー	省エネ
34	低炭素型の行動変容を促す情報発信(ナッジ)による家庭等の自発的対策推進事業	環境省	20	ー	省エネ
35	省エネルギー設備投資に係る利子補給金助成事業費補助金【利子】	環境省	19	ー	利子補給
36	電気自動車・プラグインハイブリッド自動車の充電インフラ整備事業費補助金	経産省	18	ー	設備導入
37	IoTを活用した社会インフラ等の高度化推進事業	経産省	15	ー	省エネ
38	省CO ₂ 型リサイクル高度化設備導入促進事業	環境省	15	ー	省エネ
39	省エネルギー性能の優れた建設機械の導入に対する補助事業	経産省	14	ー	設備導入
40	途上国向け低炭素技術イノベーション創出事業	環境省	14	ー	省エネ
41	上下水道システムにおける省CO ₂ 化推進事業	環境省	13	ー	省エネ
42	大規模潜在エネルギー源を活用した低炭素技術実用化推進事業	環境省	12	ー	その他
43	地域交通のグリーン化に向けた次世代環境対応車の普及促進	国交省	10	ー	省エネ
44	中小企業等に対する省エネルギー診断事業費補助金	経産省	10	ー	省エネ
45	省エネ型大型浄化槽システム導入推進事業	環境省	10	ー	省エネ
46	先進環境対応トラック・バス導入加速事業	環境省	10	ー	自動車
47	天然ガスの環境調和等に資する利用促進事業費補助金	経産省	8	ー	省エネ
48	アジア地域におけるコベネフィット型環境汚染対策推進事業	環境省	7	ー	その他
49	L2-Tech(先導的低炭素技術)導入拡大推進事業	環境省	7	ー	省エネ
50	木質バイオマス資源の持続的活用による再生可能エネルギー導入計画策定事業	環境省	5	ー	バイオマス
51	次世代省CO ₂ 型データセンター確立・普及促進事業	環境省	5	ー	省エネ
52	分散型エネルギーの導入促進に向けた次世代電力網構築のための実証事業	経産省	5	ー	実証事業
53	サプライチェーンにおける排出削減量の見える化推進事業	環境省	4	ー	その他
54	廃棄物焼却施設の余熱等を利用した地域低炭素化モデル事業	環境省	4	ー	廃棄物
55	国内における温室効果ガス排出削減・吸収量認証制度の実施委託費	経産省	4	ー	省エネ
56	モーダルシフト・輸送効率化による低炭素型静脈物流促進事業	環境省	4	ー	省エネ
57	ヒートポンプ等を活用した低炭素型農業推進事業	環境省	2	ー	省エネ
58	モーダルシフト等推進事業	国交省	0	ー	省エネ
ー	調査事業や啓発事業等であって小予算の事業	(各府省)	491	ー	(各分野)
補助金事業予算合計			2751	ー	

関東経済産業局(2017)文献を編集
 数値丸めにより事業合計が各事業集計に完全に一致しない場合あり
 凡例【エネ合】:代表事業簡略名、<革エネ>:参照事業簡略名

II-2. 方法

II-2.1 CO₂削減単価

CO₂削減単価は電中研報告により式(2)で算定される。

$$[\text{CO}_2 \text{削減単価}] = C / (S \times L) \text{--- (2)}$$

ここで、C：必要経費，S：年間CO₂削減量，L：耐用年数

本研究では、CO₂削減単価が小さい場合に費用対効果が高い、と記述する。

CO₂削減単価の算定を各事業で一律に行うことは難しい。この理由として、CO₂削減量の算定・計測自体難しく、CO₂削減量は個々の事業以外の相乗効果による量が含まれることが挙げられる。また、事業目的として、CO₂削減以外、例えば省エネルギー、新技術開発・実証、雇用創出の目的が混在していることも多いこと、耐用年数が実態と異なる場合も多いこと等も挙げられる。このように、CO₂削減単価は不確定要因が大きく、類似事業でも文献によって1~2桁異なることもある。

このCO₂削減単価は、民間企業の環境会計等に関するデータは従来から多少は公開されてきたが（国土交通省，2017）、補助事業に関するデータは近年になってようやく行政レビューシート（経済産業省，2011）、総務省行政評価局の結果報告書（総務省行政評価局，2015）、電中研報告等により、一部公開が始まったばかりである。このうち電中研報告は補助事業の取扱件数が多く、他の文献に対する評価も記載されていることもあり、CO₂削減単価はこの文献を引用する。

II-2.2 補助事業の貢献度評価（短期目標に対して）

補助事業による年間CO₂削減量は、2.1に基づいて各々の事業毎に式(3)で算定（逆算）した。

$$[\text{年間CO}_2 \text{削減量}] = [\text{事業予算}] / [\text{CO}_2 \text{削減単価}] / [\text{導入設備の耐用年数}] \text{--- (3)}$$

II-2.3 補助事業のCO₂削減予想（短期・中期目標に対して）

補助事業の公募要領やガイドブックには、根拠となった政策等は記載されているが、具体的なCO₂削減予想が記載されている事例は少ない。このため、補助事業の短期的・中期的なCO₂削減予想を以下の前提を置いて設定した。

1) 本研究では概略評価が目的であり、また次年度以降想定される補助事業の制度変更にも容易に追従できるよう、CO₂排出量予想は一次関数とする。2) 一次関数を設定する際、ガイドブック、または公募要領を参照するが、参考情報がない場合はその他の文献も参照する。3) 公募要領は2017年度版を参照するが、基準年は直近の2013年とし、CO₂排出量も2013年のCO₂排出量1405×10⁶ tonを相対値100とする。4) 省エネルギーを目的とした補助事業では省エネルギー率はCO₂削減率に比例する。5) 各々の補助事業では、式(4)で定義される事業化

達成率は1.0とする。

$$[\text{事業化達成率}] = [\text{削減量実績値}] / [\text{削減量予想値}] \text{--- (4)}$$

これらの仮定に基づいて補助事業のCO₂削減予想の推定を行った。

II-3. 結果と考察

II-3.1 補助事業の貢献度評価（短期目標に対して）

II-2.1に基づいて、電中研報告に記載されたCO₂削減単価が公開されている29事業とガイドブックに記載されている全85補助事業の照合を行った。補助事業は、予算が多くても翌年突然廃止される場合や、年度をまたいで名称が多少変更される場合もあるが、両文献において同一または相当するのは次の6事業のみであり、これらを代表事業として選定した。

1【エネ合】、2【ZEH】、3【CEV】、6【再エネ】、21【先進C】、35【利子】

表II-3に電中研報告における事業名、各々のCO₂削減単価、耐用年数、予算順位と代表事業簡略名、予算、およびII-2.2に基づく年間CO₂削減量を示した。なお、耐用年数の記載がない事業は平均的な耐用年数12年を設定した。

表II-3 代表事業の年間CO₂削減量（2017年度）

電中研報告(木村, 2016)における事業			2017年度事業		算定値	
事業名	CO ₂ 削減単価 [円/t-CO ₂]	耐用年数 [年]	表II-2で相当する 予算順位, 【代表事業簡略名】	予算 [億円]	年間CO ₂ 削減量 ×10 ⁶ [t-CO ₂] [D]:[C]×10 ⁸ / [A]/[B]	代表事業の 同左割合[%] [E]:[D]/ Σ [D] _i
	[A]	[B]		[C]		
利子補給による設備導入事業	1,353	(12)	35【利子】	19	0.117	6.7%
エネルギー使用合理化事業者支援補助金	2,343	12	1【エネ合】	391	1.391	79.0%
住宅・ビル革新的省エネ技術導入促進事業	7,323	15	2【ZEH】	200	0.182	10.3%
先進対策による業務CO ₂ 排出量大幅削減事業	9,516	(12)	21【先進C】	37	0.032	1.8%
再エネ熱利用加速化支援対策	28,388	(12)	6【再エネ】	80	0.023	1.3%
クリーンエネルギー自動車等導入促進事業	110,484	8	3【CEV】	123	0.014	0.8%
2017年度代表事業合計				850	1.760	100.0%
2017年度補助事業合計				2751	算定不能	—

耐用年数記載ない事業は平均的な耐用年数(括弧付12年)を設定
数値丸めにより事業合計が各事業集計に完全に一致しない場合あり

代表事業合計の年間CO₂削減量は、850億円の投資に対して、 1.76×10^6 t-CO₂削減であり、表II-3にこのCO₂削減量合計に対する各事業のCO₂削減割合を加えた。

この代表事業合計の結果をII-1.1の全事業と比較した場合、費用対効果は約2倍、またはそれ以上であり、代表事業の貢献度は充分高い。全事業の中には再エネ固定価格買取制度等、設備導入が主体の補助事業とは根本的に異なる事業もあるが、上記結果は一定の目安にはなる。また、代表事業合計の年間CO₂削減量は1【エネ合】による削減量が約8割と突出している。

一方、全 85 補助事業の貢献度は、代表事業以外の CO₂削減単価が不明であるため算定することはできないが、代表事業は費用対効果が高い事業が多いため、これ程、高くはならない可能性もある。

II-3.2 補助事業の CO₂削減予想（短期・中期目標に対して）

II-2.3 に基づき代表事業について、ガイドブック、公募要領等により CO₂排出量予想の一次関数で近似し、これを表 II-4 に示した。

また、CO₂削減単価不明の予算順位が 4 位および 5 位の 2 事業は、参照事業として表 II-4 に加えた。

表 II-4 代表事業/参照事業の CO₂排出量予想式

No.	代表事業/ 参照事業 略称（予算）	CO ₂ 削減目標、成果目標 （ガイドブックまたは公募要領参照）	X _n : 当該事業の n 年における CO ₂ 排出量予想式 [X ₂₀₁₃ :100]
1	【エネ合】 (391 億円)	省エネルギー率 1%(単年) 注)上記は代表ケース	$X_n = X_{n-1} \times 0.99$
2	【ZEH】 (200 億円)	2030 年までに新築住宅の平均でエネ ルギーゼロ X ₂₀₃₀ 設定根拠:総務省統計局(2014)文献を参照	X _n : 以下両者の内挿 X ₂₀₁₃ =100, X ₂₀₃₀ =93
3	【CEV】 (123 億円)	2030 年までに新車販売台数に占める 次世代自動車の割合を 5~7 割 X ₂₀₃₀ 設定根拠:EV・PHV ロードマップ検討会(2016)文献を参照	X _n : 以下両者の内挿 X ₂₀₁₃ =100, X ₂₀₃₀ =80
6	【再エネ】 (80 億円)	国の CO ₂ 削減目標(2013 年比で 2030 年 26%削減)実現への導入	X _n : 国の CO ₂ 削減目標と同一と設定
21	【先進 C】 (37 億円)	【再エネ】に同じ	
35	【利子】 (19 億円)	【エネ合】に同じ	
以下、参照事業(CO ₂ 削減単価不明のため)			
4	<FC> (94 億円)	エネファーム(燃料電池)を 2020 年までに 140 万台普及 X ₂₀₃₀ 設定根拠:資源エネルギー庁燃料電池推進室(2014)文献を参照	X _n : 以下両者の内挿 X ₂₀₁₃ =100, X ₂₀₃₀ =96
5	<革エネ> (80 億円)	10 年間の継続事業で 2030 年に原油 換算 1×10^7 kL 削減 X ₂₀₃₀ 設定根拠:資源エネルギー庁省エネルギー対策課(2016)文献を参照	X _n : 以下両者の内挿 X ₂₀₁₃ =100, X ₂₀₃₀ =57

CO₂削減目標は関東経済産業局(2017)文献を参照

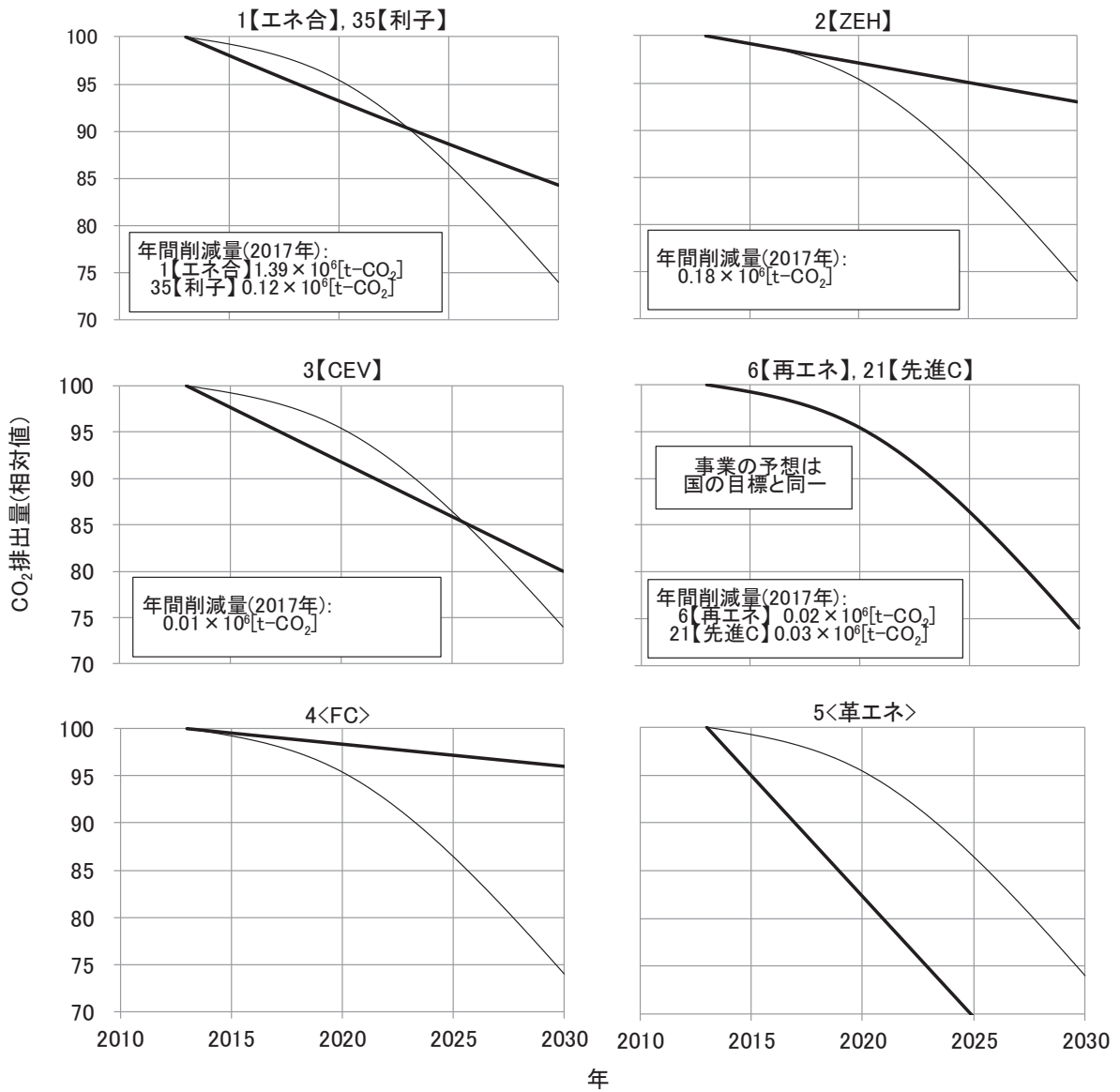
ここで参考のため、表 II-4 における「排出予想式」の設定根拠も併せて示した詳細表を表 II-4-A に示す。

表Ⅱ-4-A 代表事業/参照事業のCO₂削減予想式<詳細>

No.	事業略称 (予算)	CO ₂ 削減目標, 成果目標 (ガイドブックまたは公募要領より)	X _n : 当該事業のn年におけるCO ₂ 排出量 予想式 [X ₂₀₁₃ :100]
		設定根拠(省エネルギー率×CO ₂ 削減率と想定)	
1	【エネ合】 (391億円)	省エネルギー率1%(単年) 注)上記は代表ケースの例	$X_n = X_{n-1} \times 0.99$
2	【ZEH】 (200億円)	2030年までに新築住宅の平均でエネルギーゼロ X ₂₀₃₀ 設定根拠:(総務省統計局(2014)文献を参照) 2013年の一戸建累計:2,860万戸, 同新築:23万戸/年, 2013~2030年の17年間に新築住宅の50%がZEHに代替と想定 $X_{2030} = (2,860 \text{万戸} - 23 \text{万戸/年} \times 17 \text{年} \times 0.5) / 2,860 \text{万戸} \times 100$ 注)累計, 新築戸数とも将来漸減が予想されているが漸減率は同一と想定	X _n : 以下両者の内挿 X ₂₀₁₃ =100, X ₂₀₃₀ =93
3	【GEV】 (123億円)	2030年までに新車販売台数に占める 次世代自動車の割合を5~7割 X ₂₀₃₀ 設定根拠:(EV・PHVロードマップ検討会(2016)文献を参照) 車1台当りCO ₂ 排出量比: 従来車 対 次世代自動車(車種平均):1.0 対 0.5 新車販売台数: 2013年従来車 75%, 次世代自動車 25% 2030年従来車 40%, 次世代自動車 60%(5~7割の中間値) $X_{2030} = (1.0 \times 40\% + 0.5 \times 60\%) / (1.0 \times 75\% + 0.5 \times 25\%) \times 100$ 注)車の平均買替年数は比較的短期間であり,流通台数比は新車販売台数比と想定	X _n : 以下両者の内挿 X ₂₀₁₃ =100, X ₂₀₃₀ =80
6	【再エネ】 (80億円)	国のCO ₂ 削減目標(2013年比で2030年26%削減)実現への導入	X _n : 国のCO ₂ 削減目標と同一と設定
21	【先進C】 (37億円)	【再エネ】に同じ	
35	【利子】 (19億円)	【エネ合】に同じ	
以下は参照事業(CO ₂ 削減量未公開のため)			
4	<FC> (94億円)	エネファーム(燃料電池)を2020年までに 140万台普及 X ₂₀₃₀ 設定根拠:(資源エネルギー庁燃料電池推進室(2014)文献を参照) 2020年エネファーム140万台普及かつ2030年530万台普及前提でCO ₂ 4%削減	X _n : 以下両者の内挿 X ₂₀₁₃ =100, X ₂₀₃₀ =96
5	<革エネ> (80億円)	10年間の継続事業で2030年に原油 換算1×10 ⁷ kL削減が目標 X ₂₀₃₀ 設定根拠:(資源エネルギー庁省エネルギー対策課(2016)文献を参照) (一般的な)省エネ対策補助金の費用対効果:2,900kL/億円 「革新的」当該事業の費用対効果:10 ⁷ kL/(80億円/年×10年) =12,500kL/億円 両者の効果比:12,500/2,900=4.3, 2030年の省エネ対策によるCO ₂ 削減:10%, X ₂₀₃₀ =100-10×4.3	X _n : 以下両者の内挿 X ₂₀₁₃ =100, X ₂₀₃₀ =57

CO₂削減目標は関東経済産業局(2017)文献を参照

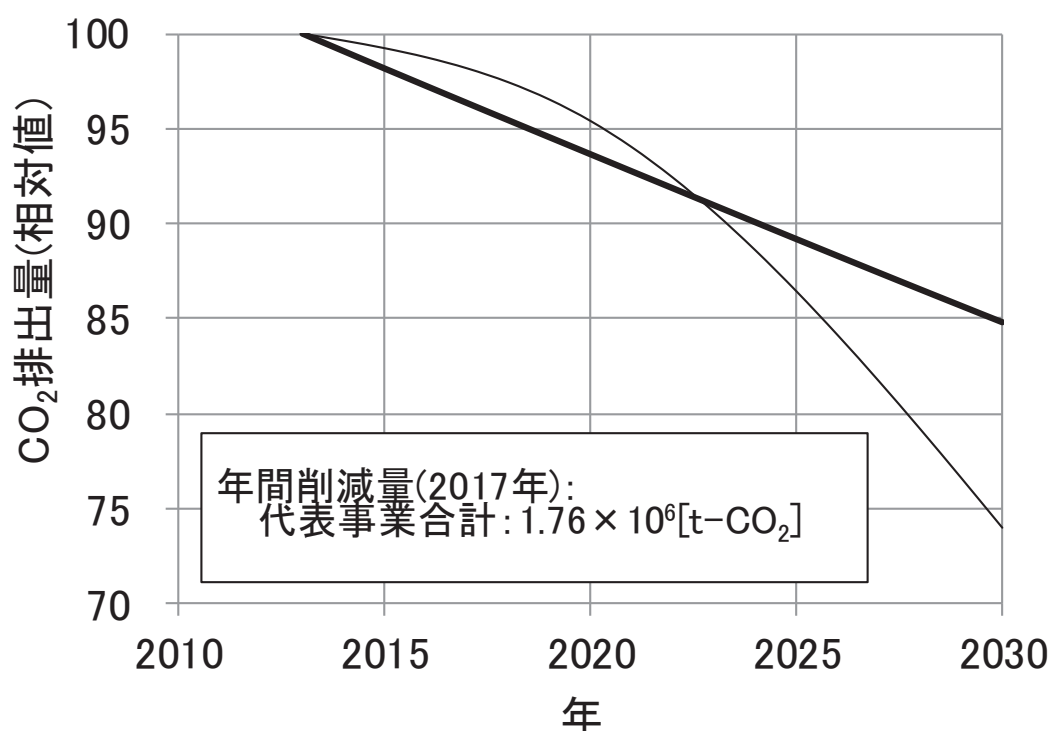
これらから、代表事業、および参照事業の短期的・中期的なCO₂削減予想を作成し、これを国のCO₂削減目標、およびⅡ-3.1で算定した年間CO₂削減量と併せて図Ⅱ-2に示した。



図Ⅱ-2 代表事業／参照事業のCO₂削減予想
(太線：当該事業の予想，細線：国の目標)

図Ⅱ-2 に示すとおり，2020 年では代表事業の 6 事業中 5 事業が，国の CO₂ 削減目標を上回るか，同一であり，大半の代表事業の CO₂ 削減予想の位置付は妥当である。一方，2【ZEH】や 4<FC>のように CO₂ 削減予想が低い事業も混在する。前述のとおり，CO₂ 削減予想が低い事業は，CO₂ 削減以外に新技術開発・実証等を主目的としている可能性もある。

また，Ⅱ-3.1 で算定した年間 CO₂ 削減量割合を織り込み，代表事業合計の CO₂ 削減予想を作成して図Ⅱ-3 に示した。



図Ⅱ-3 代表事業合計の CO₂ 削減予想
(太線：代表事業の予想，細線：国の目標)

この代表事業合計の CO₂ 削減予想は，1【エネ合】の影響が支配的であり，2022 年頃までは国の CO₂ 削減目標を上回り，国の CO₂ 削減目標に対する位置付は妥当である。

一方，2030 年における国の CO₂ 削減目標に対する比較では，これを下回った。しかし，類似制度の事業が 2030 年までそのまま継続することは考え難いため，今後 10 年余りの間で起こり得る技術革新や事業の再編等を織り込みながら，この予想自体，修正していくことが妥当である。

なお，上記評価は，今後，年間 0~2%程度と予想される経済成長率，将来予

想される人口減少、気象等の自然環境変動による影響は含まれていない。

Ⅱ－3.3 評価の課題

本評価の元となった代表事業のCO₂削減単価は、同一文献によったが、精度が議論できる程の公開データ量はない。また、評価において、事業化達成率等、様々な不確定要因は含まれていない。

今後、補助事業完了後、事業化達成率が判明すればこれを織り込むことが可能となり、また、その他の不確定要因も、相当する係数が判明すれば、評価の精度を上げることが可能となる。

Ⅱ－4. 結言

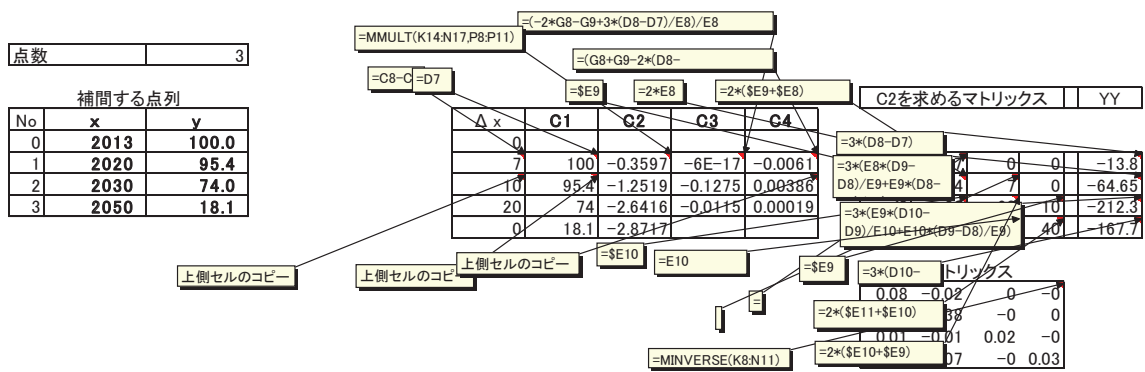
本研究では、地球温暖化対策に関する補助事業について、CO₂削減単価や事業予算等の公開データを活用し、補助事業が全事業に対してどの程度貢献するのか、また、どのような位置付けにあるのか、以下のとおり概略評価を行った。

1)CO₂削減単価が公開されている補助事業を代表事業として選定した。2)代表事業のCO₂削減量を算定した。3)代表事業の短期的・中期的なCO₂削減予想を行った。4)この結果、代表事業（補助事業）の位置付けは妥当であるとの結論を得た。

国が毎年、どのようにして府省横断的な補助事業のPDCA (Plan, Do, Check, Action) を行い、どのような結果に基づいてこれらの制度を改廃しているかについては、未公開の事項が大半である。環境技術者が、補助事業によるCO₂削減に、より関心を持ち、高い精度で補助事業の評価を行うためにも、これらの全面的な情報公開が望まれる。

II - APPENDIX

「CO₂削減目標」はスプライン関数を使用した。その関数の係数、および計算結果（数値データ）を以下に示す。なお、計算方法は神足（2009）の文献によった。



X(年)	Y(相対値)	X(年)	Y(相対値)
2013	100.0	2030	74.0
2014	99.6	2031	71.3
2015	99.2	2032	68.7
2016	98.8	2033	66.0
2017	98.2	2034	63.3
2018	97.4	2035	60.5
2019	96.5	2036	57.8
2020	95.4	2037	55.0
2021	94.0	2038	52.2
2022	92.4	2039	49.4
2023	90.6	2040	46.6
2024	88.6	2041	43.8
2025	86.4	2042	41.0
2026	84.1	2043	38.1
2027	81.7	2044	35.3
2028	79.2	2045	32.4
2029	76.6	2046	29.6
		2047	26.7
		2048	23.8
		2049	21.0
		2050	18.1

【スプライン関数】

$$Y_i(X) = C_{1,i} + C_{2,i}(X - X_{i-1}) + C_{3,i}(X - X_{i-1})^2 + C_{4,i}(X - X_{i-1})^3$$

Ⅱ－引用文献

- 朝野堅司・杉山大志 (2010) 『3兆円の地球温暖化予算の費用対効果を問う』(財)電力中央研究所社会経済研究所, p. 2-3.
- EV・PHVロードマップ検討会 (2016) 『EV・PHVロードマップ検討会報告書』EV・PHVロードマップ検討会, pp. 4.
- 神足史人 (2009) 『Excel で操るここまでできる科学技術計算』丸善出版, pp. 34-36.
- 環境省 (2015) 「2050年を見据えた温室効果ガスの大幅削減に向けて」,
https://www.env.go.jp/policy/kikouhendou/kondankai01/02_siryoul-1.pdf, 2017年5月3日閲覧.
- 環境省 (2016a) 「地球温暖化対策推進法と地球温暖化対策計画」,
<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/domestic.html>, 2017年4月8日閲覧.
- 環境省 (2016b) 「我が国の温室効果ガス排出量－2015年度速報値」,
<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/2015sokuho.pdf>, 2017年5月2日閲覧.
- 環境省 (2017) 「平成29年度地球温暖化対策関係予算案について」,
<http://www.env.go.jp/press/103717.html>, 2017年5月29日閲覧.
- 関東経済産業局 (2016) 『平成28年度エネルギー・温暖化対策に関する支援制度について－補助金等ガイドブック－』関東経済産業局, pp. 1-46.
- 関東経済産業局 (2017) 『平成29年度エネルギー・温暖化対策に関する支援制度について－補助金等ガイドブック－』関東経済産業局, pp. 1-45.
- 経済産業省 (2011) 「平成22年行政レビュー/行政事業レビューシート公開」,
http://www.data.go.jp/data/dataset/meti_20140901_0403, 2017年10月1日閲覧.
- 経済産業省 (2016) 「日本エネルギーのいま－抱える課題 (2016)」,
http://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/energy_policy/energy2014/kadai/, 2017年4月29日閲覧.
- 木村幸 (2016) 「国の温暖化対策関連事業の現状と課題－公会計資料と行政事業レビューシートに基づく分析 (2016)」『電力中央研究所－調査報告』Y15018.
- 国土交通省 (2017) 「CO₂の貨幣価値原単位について (参考: 国内企業の環境会計における評価値/環境省資料)」,
<http://www.mlit.go.jp/tec/hyouka/public/pdf>, 2017年4月1日閲覧.
- 資源エネルギー庁燃料電池推進室 (2014) 『家庭用燃料電池について (資料1)』資源エネルギー庁燃料電池推進室, pp. 4-5.
- 資源エネルギー庁省エネルギー対策課 (2016) 『省エネルギー政策の動向－2016以降の展開』資源エネルギー庁省エネルギー対策課, pp. 76.
- 総務省行政評価局 (2015) 『温室効果ガスの排出削減に係る国の補助事業に関する

る行政評価・監視』総務省行政評価局.
総務省統計局(2014)『平成25年度住宅・土地統計調査速報』総務省統計局, pp. 4.

第三章 広島県における光化学オキシダントのシミュレーションとその低減 対策 ―地球温暖化に即して―

Ⅲ－１．緒言

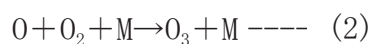
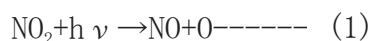
今日、環境問題を論じる場合、特に東日本大震災（2011年3月11日発生）以降は地球温暖化対策も考慮することが必須と考えられる。地球温暖化対策に重要な物質であるCO₂は、毎年、（数年の遅れはあるが）国および都道府県ごとの排出量実績が公開されており、削減目標についても国は次のとおり表明している。1)直近過去の目標（東日本大震災後、パリ協定締結前）として「2020年度までに2005年度比で3.8%削減」（環境省、2016a）、2)パリ協定の目標（2016年11月締結）として「2030年度に2013年度比で26%削減」（環境省、2016b）ここで、「パリ協定の目標」は、2030年をターゲットにした中期的ともいえる目標である。

本研究で対象とする広島県の2013年度のCO₂排出量は2016年12月現在未公開であることにより、本研究では、より短期的な目標である「直近過去の目標」に基づいて、広島県のCO₂削減目標を以下のとおり検討した。

広島県のCO₂排出量や削減計画は、東日本大震災前に作成された「第二次広島県地球温暖化防止地域計画」に記載されており（広島県、2011）、これによれば2006年度時点のCO₂排出量は、当時の基準年である1990年度比で既に約30%超過している。この原因は、広島県では産業部門からの排出割合が約71%と高く（全国平均約47%）、対策に比較的裕度がある民生部門などからの排出割合が低いためと考えられる。本研究では、国の直近過去の目標（3.8%削減）や全国平均に比較して削減達成が厳しいと考えられる広島県の実勢も考慮し、広島県のCO₂削減目標の仮想指針として「CO₂を2020年までに2005年比で3%削減」と設定した。

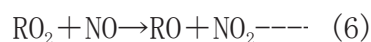
一方、現在、大気汚染に係る環境基準として、昭和40年代に二酸化硫黄、一酸化炭素、浮遊粒子状物質、二酸化窒素および光化学オキシダントの5物質が、平成21年には微小粒状物質に係る環境基準が定められた。新たに定められた微小粒状物質を除けば、前者5物質の大半は、近年では環境基準をほぼ達成しているが、光化学オキシダントの達成状況は依然として低い水準にある。環境省の平成28年版環境・循環型社会・生物多様性白書によれば、平成26年度、光化学オキシダントは、環境基準（1時間値0.06ppm以下）に対して全国各地の達成度（達成した測定局数割合）が1パーセント未満と依然として低い水準にある。また、全国で注意報（1時間値0.12ppm以上で気象条件により発令）などは17都道府県で延べ101日発令されている。このように光化学オキシダントに関しては、今日でも低減対策が必要であることが分かる（環境省、2016c）。

光化学オキシダント（大部分はオゾンであり化学式では O_3 で表記）は、前駆体である窒素酸化物（以下「 NO_x 」）中の NO_2 が関与し、以下の反応式により生成される（秋元ら，2002；畠山，2015）。



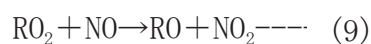
ここで、 $h\nu$ は光量子、 M は反応の第三体を表す。

大気中に NO_x など上記の物質しか存在しない場合、式(3)により O_3 が分解され、 O_3 濃度は定常値に達する。しかし、大気中には通常、非メタン炭化水素（以下「 $NMHC$ 」）も存在しており、これらが OH ラジカルによる光化学反応を受けることにより、以下のように RO ラジカルや HO_2 ラジカルが生成する。



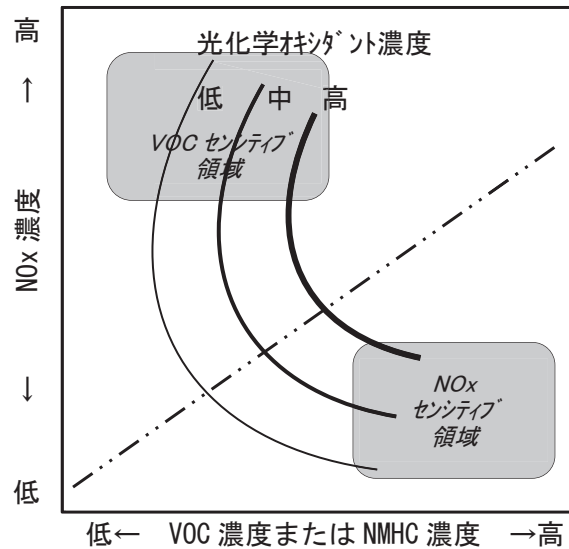
ここで、 R はアルキル基、 $CARB$ はカルボニル化合物を表す。

生成した RO_2 ラジカルや HO_2 ラジカルが以下の式(8)または式(9)により、 NO を再度 NO_2 に戻す。



式(8)または式(9)によって NO_2 が再生され、再び式(1)および式(2)により O_3 が生成され、これら一連の反応により高濃度オゾンが生成される。

Finlayson-Pitts and Pitts Jr. (1986) は、都市域における光化学オキシダントの生成機構を検討しており、光化学オキシダントの等濃度曲線を NO_x 濃度と $NMHC$ 濃度に関連付けて説明している。これによると、 NO_x 濃度が低減した場合でも光化学オキシダント濃度が余り変化しないか、逆に増加する領域が存在することが特徴である。関東地域の過去の調査結果でも NO_x 濃度と揮発性有機化合物（以下「 VOC 」）を関連付けて、この特徴が裏付けられている（井上ら，2010）。この概念図を図Ⅲ-1 に示す。



図Ⅲ－１ 光化学オキシダント等濃度線（概念図）

図Ⅲ－１において、左上はNO_x濃度が低減した場合、光化学オキシダント濃度は余り変化しないか、逆に増加する領域（主にVOC濃度によって支配されるVOCセンシティブ領域）であり、右下がNO_xセンシティブ領域である。これらの領域についてSillman（1999）は、以下のように説明している。

NO_xセンシティブ領域はNO_x濃度が相対的に低い領域であり、NO_x濃度が増加すると光化学オキシダント濃度も増加する。この増加割合は徐々に小さくなり、やがて光化学反応に必要なNO_x濃度は飽和に達する。一方、VOCセンシティブ領域では、NO_x濃度は飽和に達していることから、光化学オキシダントの生成・蓄積はVOC濃度の影響を大きく受けるようになる。実際の現象は、気象要素（日射量、気温、風向、風速など）や地域条件（地形、標高など）の影響も受けるため、対象地域がどちらの領域に該当するかなどを簡単に推定することは困難である。

首都圏の他、東海地域、関西地域および北九州地域の大都市圏では、環境データや気象データの豊富な蓄積により、光化学オキシダントを気象データと関連付けて統計的な検討が実施されており（光化学オキシダント調査検討会，2012；井上ら，2010；光化学オキシダント対策検討会，2005；東京都環境局環境改善部，2005），特に近年の国内における光化学オキシダント濃度の長期トレンドに関して、次の3つの事項を挙げている（光化学オキシダント調査検討会，2014）。つまり、1)NO_xの排出抑制による局所的NO濃度低下によってもたらされた「NOタイトレーション効果の低減」による都市部の光化学オキシダント濃度の増加、2)越境汚染の増加による光化学オキシダント濃度の増加（春季に西日本

で特に顕著)、3)NO_x および VOC の排出抑制による高濃度域の光化学オキシダント濃度の低減、である。なお、これらの長期トレンドへの寄与割合は、気象条件や地域条件によって異なり、より定量的な議論は今後のシミュレーションを使用した解析に委ねる、とされている。

光化学オキシダントを取り扱う化学輸送モデルとして、大気移流・拡散・反応モデル (Community Multi-scale Air Quality Model 以下「CMAQ」) などがある。2007年5月に発生した越境汚染による影響が大きかったと考える事例では、CMAQ を使用して解析が行われ、このときの高濃度オゾンに対する中国寄与率は、全国で25%以上、九州地域では40~45%に達すると見積もられた(大原ら, 2008)。しかし、CMAQ は汎用プログラムではないため使用する場合は専門の研究機関に委ねる必要がある。また、地域ごとの NO_x 排出量を精度良く算定することも容易ではない(森川, 2010)。

NO_x 排出量は、事業所における「固定排出源」の他、「移動排出源」などからの NO_x 排出量も考慮する必要がある。前者に関しては、環境省から3年に1回程度、主要な固定排出源であるばい煙発生施設からの地域別排出量(NO_x 排出量)が公開されているが(環境省, 2016d)、後者は地域ごとのデータは見当たらない。全国規模では NO_x や VOC の他、二酸化炭素(以下「CO₂」)、二酸化硫黄なども含めた排出量の算定例があり(福井ら, 2014)、大都市圏では専門の研究機関により、NO_x 排出量が調査・算定された例もあるが(千葉県, 2011)、任意の地域での NO_x 排出量が一般向けに公開されている訳ではない。

これらの理由により、従来、光化学オキシダントの解析・検討は、環境関連のデータや NO_x 排出量などのデータが豊富な大都市圏をモデルとして、専門の研究機関が実施した事例に限られていた。

2012年、産業技術総合研究所(以下「産総研」)から一般公開された解析ソフト ADMER PRO version1.0(以下「ADMER-PRO」)は、オフィス用パソコンで光化学オキシダントのシミュレーションを可能としたものである(産総研, 2011, 2012)。また、シミュレーションのインプット条件となる NO_x 排出量などのデータも、官公庁のデータオープン化に伴い、一部ではあるが、概算で任意の地域における算定が可能となってきた。

本研究は、大都市圏以外の地域であって瀬戸内地域の中央付近に位置する広島県を例にとり、光化学オキシダントの解析・検討を行うものである。広島県内を見渡すと南側の瀬戸内海沿岸に鉦工業や他の産業が集中的に発展していること、沿岸最東部の福山市に大手製鉄会社があり同地域で膨大な NO_x 排出量が想定されること、沿岸西部には県内最大の都市・広島市があり同地域で自動車からの NO_x 排出量が多いと想定されること、その他、沿岸最西部の大竹市(および隣接する山口県岩国市)に大手化学会社や大手石油会社があることなどが

特徴である。広島県の平成 28 年度版環境白書によれば、平成 26 年度、光化学オキシダントを測定している測定局 28 局のうち、環境基準達成局は 0 局であるなど、国と同じく低減対策が必要であることが分かる（広島県，2016a）。

本研究は、広島県の CO₂ 削減目標の仮想指針に則り、まず NO_x 排出量の変動について検討した。次いで、この NO_x 排出量の変動を考慮して広島県における光化学オキシダントの解析を行い、その低減のための考察を行った。本研究は、公開されたデータに基づいて、環境対策に一步踏み込んだ提案を行う事例として作成したものである。

Ⅲ－２．方法

NO_x 排出量変動の検討の後、ADMER-PRO を使用して光化学オキシダントのシミュレーションを行った。ADMER-PRO の主な特徴は次のとおりである（産総研，2011，2012）。

1) 計算エンジンは、気象場と諸物質の濃度場を同時に推定可能な 3 次元オイラー型化学輸送モデルを使用している。2) 2005 年度における全国の NO_x、CO、VOC 排出量および同年の全国の気象データが内蔵されており、2005 年度に限れば他のデータを入手することなく任意の地域での光化学オキシダントのシミュレーションが可能である。3) 2005 年度の任意の計算期間（月など）を指定すれば、気象パターンの出現頻度に応じて計算期間（3 日間の計算日）が自動的に指定される。換言すれば、ユーザーは、月などは指定できるが、計算日の指定はできない。4) インプット条件である NO_x、CO、VOC 排出量は、都道府県単位で「相対排出係数」を増減設定することにより、ケーススタディが可能となる。ここで「相対排出係数」とは、2005 年度当該月日（基本ケース）における NO_x、CO、VOC 排出量を 1.0 とした場合の各々の相対的な排出量を示す係数であり、Ⅲ－3.1 の「排出係数」と区別するため「相対排出係数」と呼称する。なお、CO₂ はインプット、アウトプットとも取り扱いがない。5) VOC 排出量は人為起源と植物起源から構成され、このうち植物起源は約 60% である（産総研，2011）。6) VOC 相対排出係数は人為起源のみが対象で、植物起源は固定値である。したがって、人為起源の相対排出係数を例えば 0.5 に設定した場合でも、人為起源および植物起源合計の相対排出係数は約 0.8 にとどまる（ $0.4 \times 0.5 + 0.6$ ）。7) アウトプットは、当該地域の風向、風速、気温、光化学オキシダント濃度、NO₂ 濃度、NO 濃度、NO_x 濃度などの時系列図および地域分布図である。

シミュレーションでは、NO_x、VOC など、各々の相対排出係数が 1.0 の設定を基本ケースとするが、このときの全国の NO_x、VOC 排出量データは 2005 年度現在のデータであり、それぞれ $2.144 \times 10^6 \text{ ton} \cdot \text{y}^{-1}$ 、 $5.187 \times 10^6 \text{ ton} \cdot \text{y}^{-1}$ である。また、VOC 排出量データのうち、植物起源 VOC は $3.312 \times 10^6 \text{ ton} \cdot \text{y}^{-1}$ である（産

総研，2011)。なお，これらのデータは，実際には約 1×1km 毎の計算グリッドとして内蔵されており，ユーザーは，都道府県単位や時間単位での排出量データを確認することはできない。

以上を踏まえ，シミュレーション（基本ケース）を実施する月として，例年，光化学オキシダントの発令件数が多い夏季の6月，7月および8月を選定した（何れも 2005 年）。また，対象地域は，広島県内の沿岸最東部の福山地域（神辺事業所），沿岸西部の広島地域（海田高校），沿岸最西部の大竹地域（大竹油見公園）および県央部の東広島地域（西条小学校）とした。地域の後のカッコ内名称は広島県が所管する最寄りの測定局（一般環境大気測定局）の名称である。これらの位置関係を図Ⅲ-2 に示す。



図Ⅲ-2 対象地域（広島県）

化学輸送モデルの計算精度は 1/2～2 倍程度とされており，首都圏における解析・検討では ADMER-PRO が十分な精度を有することが確認されているが（井上ら，2010，2015），本研究でも基本ケースのシミュレーション結果（計算値）と実測値を比較した。広島県は，平成 9 年度以降，所管する測定局における実測値（1 時間値）をテキストファイルで公開しており（広島県，2016b），これを

エクセルデータに変換して計算値と比較した。なお、実測値はデータエラーも頻出しているため、このような時刻または計算期間は有効なデータ無と見なした。

次いで、計算値と実測値の比較により、適切な代表ケース（月日および地域）を選定し、ケーススタディを実施した。ケーススタディでは、NO_x 相対排出係数および VOC 相対排出係数をパラメータとした。

Ⅲ－3．結果

Ⅲ－3.1 NO_x 排出量変動の検討

本項では、広島県の CO₂ 削減目標（仮想指針）に則した場合の NO_x 排出量の変動を検討する。CO₂ や NO_x などの排出量は一般に以下の式で算定される（アジア大気汚染研究センター，2007）。

$$[\text{排出量}] = [\text{排出係数}] \times [\text{活動量}]$$

上式において、[排出係数]は言うまでもなく排出ガスの種類により異なるが、特定の部門・業種における[活動量]は、概ね次のように画一的に表わすことができる。1) 自動車を主とする運輸部門は[車両などの台数]×[走行距離]，2) 民生部門のうち火力発電所は発電量（燃料消費量），3) 産業部門のうち鉄鋼業は製造量（燃料消費量）

このため、これらの部門・業種では、車種や事業所ごとに CO₂ と NO_x で近似の[活動量]が適用できるものと考えられる。広島県において（CO₂ 排出量の内訳詳細が公開されている）2007 年度の CO₂ 排出量は約 6×10⁴ton であるが、このうち約 8 割が上記 3 部門・業種からの排出である（広島県，2011）。

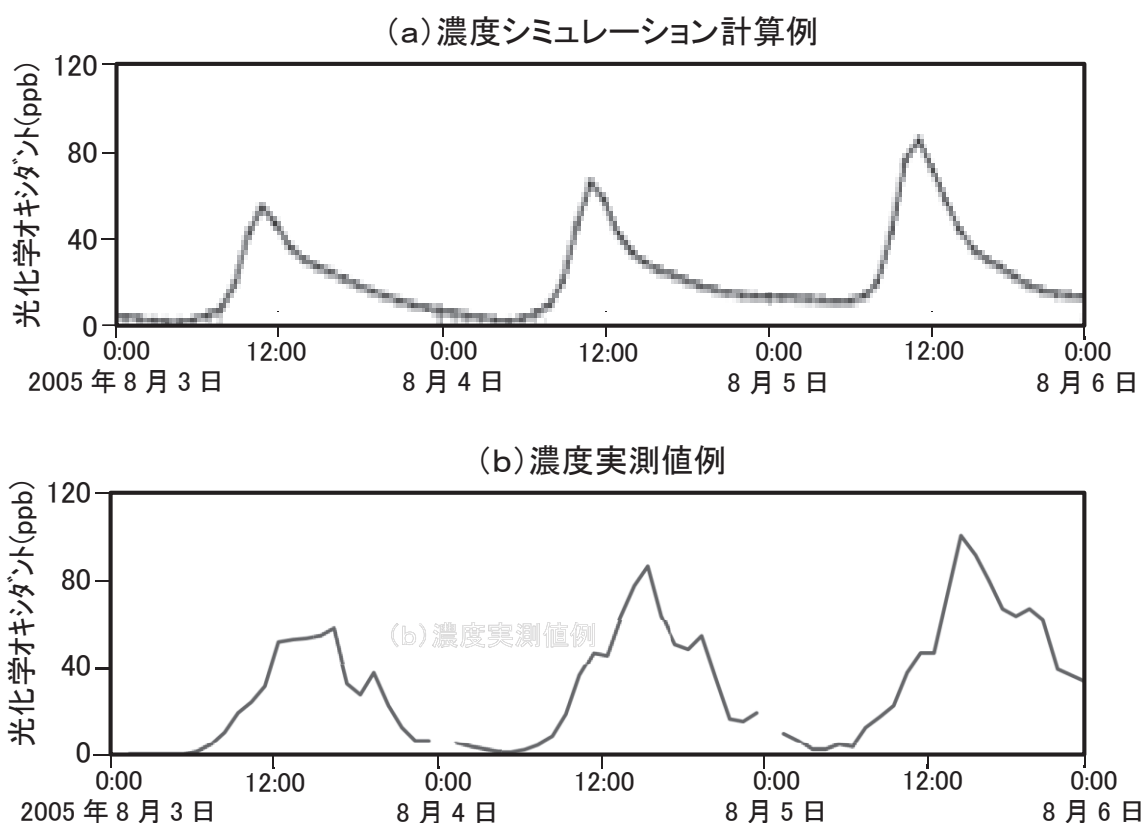
一方、その他の廃棄物焼却処理、化学工業などの分野では、必ずしも個々の処理工程は画一的ではなく、これらの分野では、CO₂ と NO_x の[活動量]は近似とは限らない。また、上記 3 部門・業種における[活動量]も産業構造の変化、燃料転換（例：石炭から天然ガスへ）、排ガス処理の技術革新（例：脱硝装置の改良）などがあれば異なった値となる。

このように、「CO₂ を 2020 年までに 2005 年比 3%削減」との仮想指針に則した場合、NO_x 排出量の約 8 割は CO₂ と同様に 3%低減されると想定されるが、残り 2 割はどのように増減するか不確かである。また、産業構造変化などの潜在可能性もあることから、CO₂ 削減 3%の 1/3～3 倍（1～9%）にさらに裕度を見込み、「NO_x は 0～10%低減」すると設定した。

Ⅲ－3.2 光化学オキシダントのシミュレーション（基本ケース）

Ⅲ－2 の条件で光化学オキシダントのシミュレーション（基本ケース）を実施した。その計算例を図Ⅲ－3(a)に示す。また、対応する計算期間・場所の実測

値例を図Ⅲ-3(b)に示す。なお、図Ⅲ-3(b)の不連続部はデータエラー個所であるが、計算期間内での光化学オキシダントのピーク濃度（1時間継続値，以下同じ）の読み取りは問題なく，計算期間内での平均濃度の読み取りも不連続部の補間により算定可能なため，このような場合は有効データとして取り扱った。



図Ⅲ-3 (a) 光化学オキシダント濃度シミュレーション計算例(基本ケース, 福山地域)
 (b) 光化学オキシダント濃度実測値例(基本ケース, 福山地域)

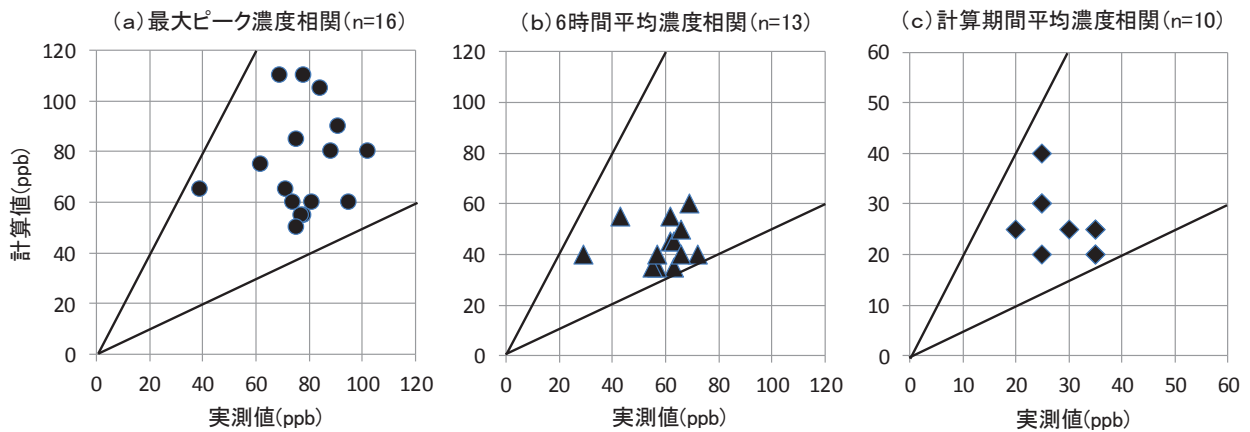
計算値および実測値から各々，計算期間内で3か所存在するピーク濃度のうち最大ピーク濃度，実測値の最大ピーク濃度が出現する日付の10～16時の平均濃度（以下「6時間平均濃度」）および計算期間内の平均濃度（以下「計算期間平均濃度」）を読み取り，表Ⅲ-1にまとめた。なお，表Ⅲ-1の天気概況および平均風速は，気象データ（気象庁，2016）から，4地域の代表として広島地域のデータを示した。

また、計算値と実測値について、最大ピーク濃度に関する相関を図Ⅲ-4(a)、6時間平均濃度に関する相関を図Ⅲ-4(b)、計算期間平均濃度に関する相関を図Ⅲ-4(c)にそれぞれまとめた。

表Ⅲ－１ 光化学オキシダント計算値／実測値

2005年月日(期間)	6月2日	3日	4日	7月8日	9日	10日	7月13日	14日	15日	8月3日	4日	5日	8月17日	18日	19日
天気概況(昼間)	雨後曇	曇	晴一時雨	曇時々晴	雨一時曇	雨時々曇	雨時々曇	曇	曇	晴一時曇	晴一時曇	晴一時曇	晴	曇時々晴	晴
平均風速[m/s]	2.1	2.4	4.7	3.2	3.4	3.0	2.1	2.2	3.0	4.6	2.9	2.9	3.5	3.6	4.3
最大ピーク濃度 [ppb]	実測値	計算値	計算値/実測値比	実測値	計算値	計算値/実測値比	実測値	計算値	計算値/実測値比	実測値	計算値	計算値/実測値比	実測値	計算値	計算値/実測値比
福山	78	55	71%	78	110	141%	69	110	159%	102	80	78%	74	60	81%
東広島	77	55	71%	有効データ無	80	—	有効データ無	90	—	有効データ無	70	—	有効データ無	60	—
広島	71	65	92%	75	85	113%	84	105	125%	62	75	121%	95	60	63%
大竹	75	50	67%	88	80	91%	91	90	99%	39	65	167%	81	60	74%
6時間平均濃度 [ppb]	実測値	計算値	計算値/実測値比	実測値	計算値	計算値/実測値比	実測値	計算値	計算値/実測値比	実測値	計算値	計算値/実測値比	実測値	計算値	計算値/実測値比
福山	63	35	56%	62	45	73%	62	55	89%	69	60	87%	57	40	70%
東広島	有効データ無	30	—	有効データ無	35	—	有効データ無	40	—	有効データ無	55	—	有効データ無	40	—
広島	57	35	61%	63	45	71%	有効データ無	40	—	43	55	128%	有効データ無	35	—
大竹	55	35	64%	72	40	56%	66	40	61%	29	40	138%	66	50	76%
計算期間平均濃度 [ppb]	実測値	計算値	計算値/実測値比	実測値	計算値	計算値/実測値比	実測値	計算値	計算値/実測値比	実測値	計算値	計算値/実測値比	実測値	計算値	計算値/実測値比
福山	35	20	57%	25	30	120%	25	40	160%	35	25	71%	35	25	71%
東広島	有効データ無	20	—	有効データ無	25	—	有効データ無	30	—	有効データ無	25	—	有効データ無	25	—
広島	25	20	80%	25	30	120%	有効データ無	35	—	20	25	125%	有効データ無	25	—
大竹	35	20	57%	30	25	83%	有効データ無	30	—	有効データ無	20	—	有効データ無	25	—

天気概況および平均風速は広島地域の過去データ(気象庁, 2016)

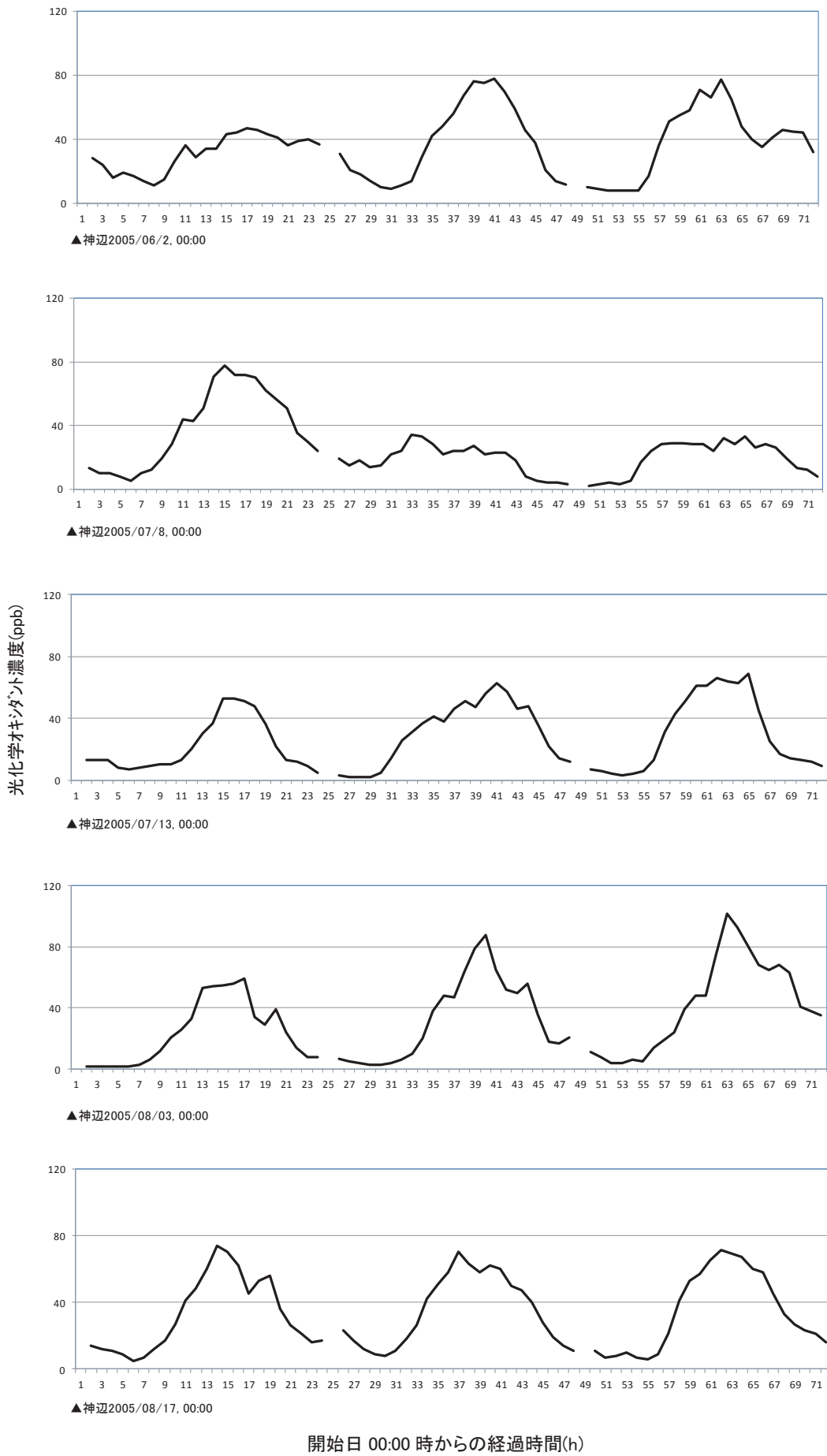


図Ⅲ－４ (a) 光化学オキシダント最大ピーク濃度相関
 (b) 光化学オキシダント6時間濃度相関
 (c) 光化学オキシダント計算期間平均濃度相関

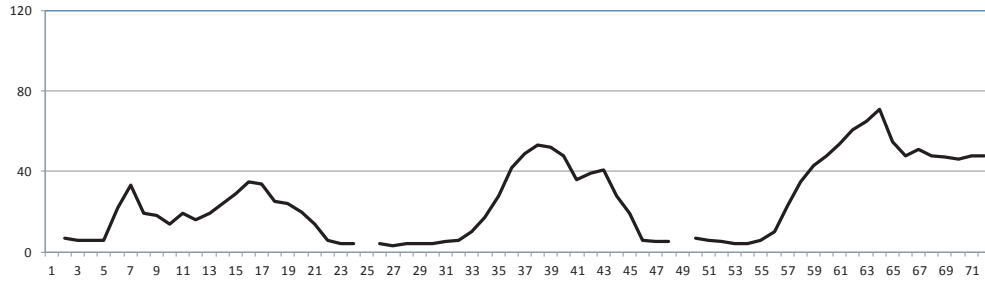
表Ⅲ-1, 図Ⅲ-4(a), 図Ⅲ-4(b)および図Ⅲ-4(c)から, 計算値と実測値の比は1/2~2倍以内には入っており, かつ, 6割以上のデータは差異±30%以内であるため, 一定の精度はあるものと考えられる。

本研究では, 計算値と実測値の差異(小であること), 計算期間内の実測値の最大ピーク濃度(高いこと)および計算期間内の天候(晴が主であること)を考慮し, 代表ケースとして, 8月3~5日の福山地域および広島地域を選定した。なお, この計算期間における最大ピーク濃度(実測値)出現時刻は, 8月5日14時頃である。

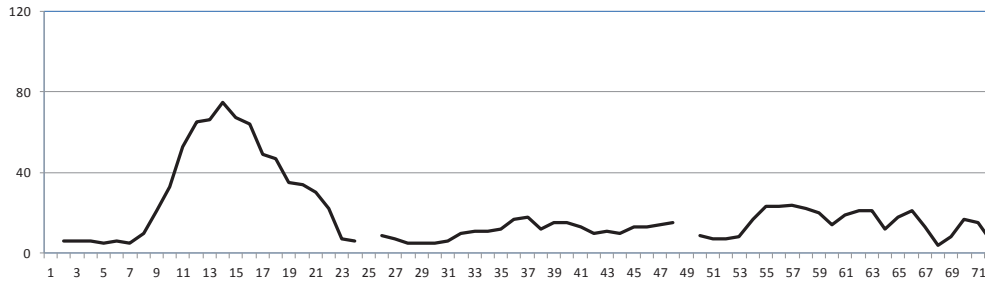
ここで, 表Ⅲ-1における実測値を評価する際, 元となった福山地域(神辺事業所), 広島地域(海田高校), および大竹地域(大竹油見公園)における光化学オキシダント濃度実測値を図Ⅲ-4-Aに示す。なお, 東広島地域(西条小学校)はデータエラーが大半で作図できなかった。



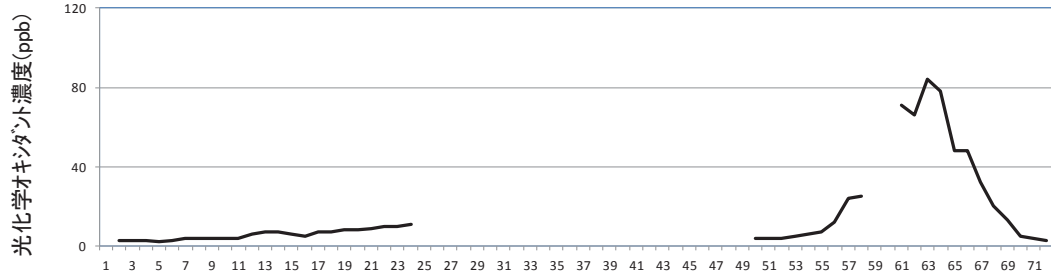
図Ⅲ-4-A 光化学オキシダント実測値 (1/3) [神辺]



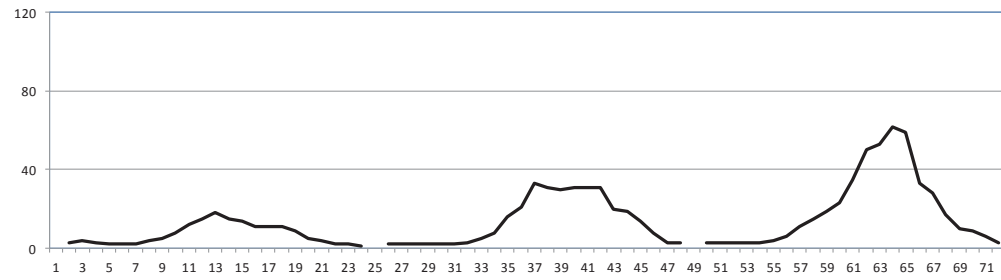
▲海田2005/06/02, 00:00



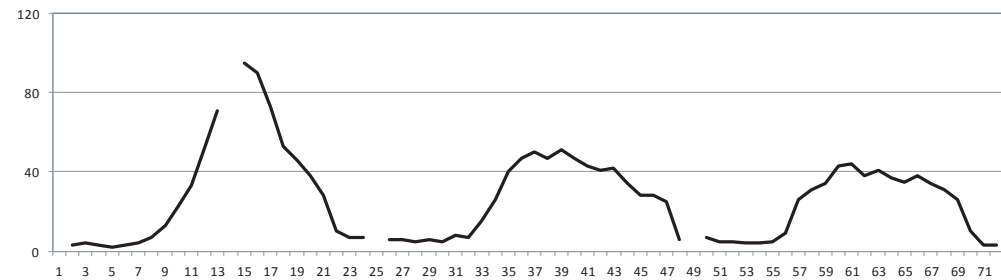
▲海田2005/07/08, 00:00



▲海田2005/07/13, 00:00



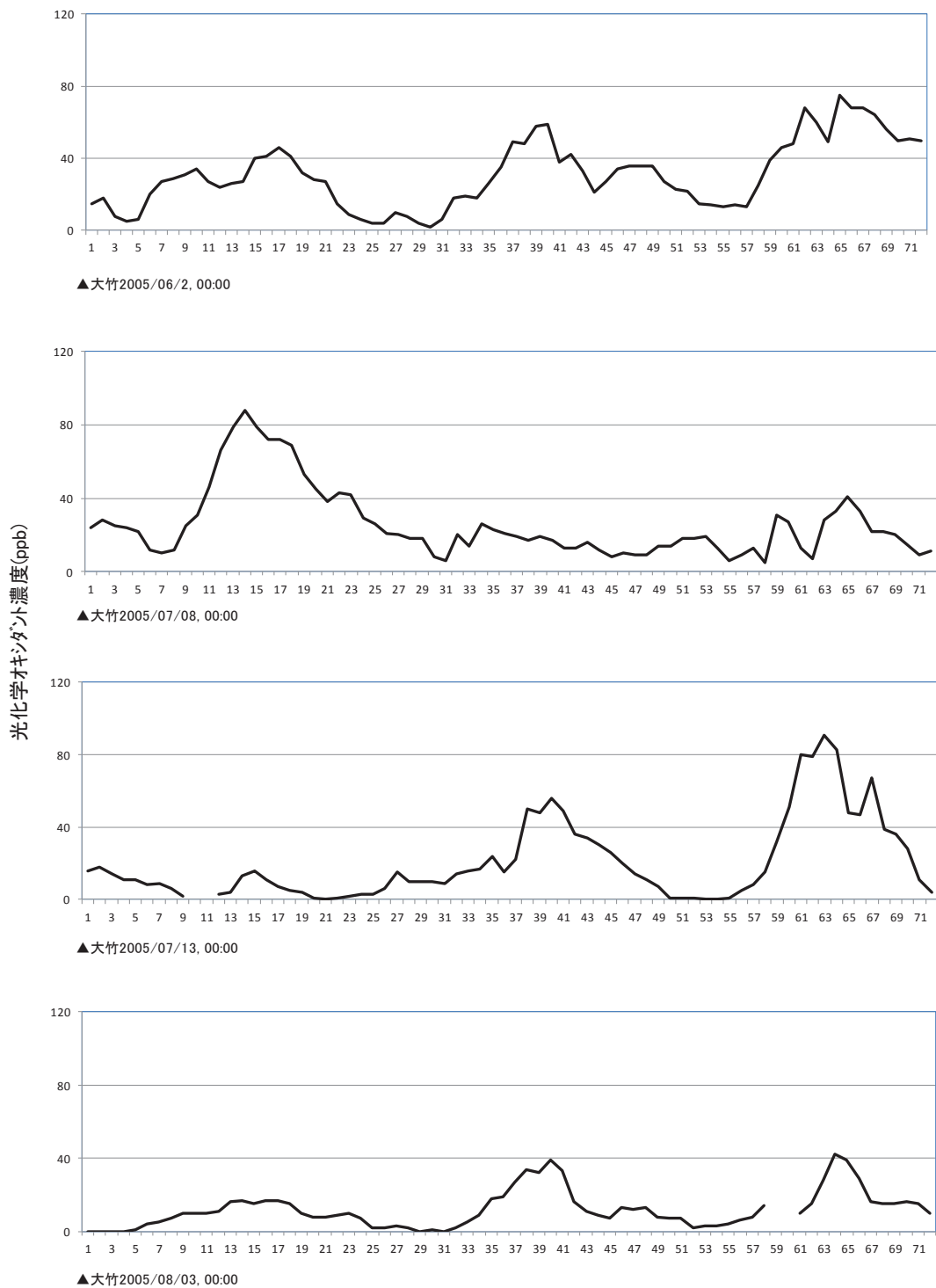
▲海田2005/08/03, 00:00



▲海田2005/08/17, 00:00

開始日 00:00 時からの経過時間(h)

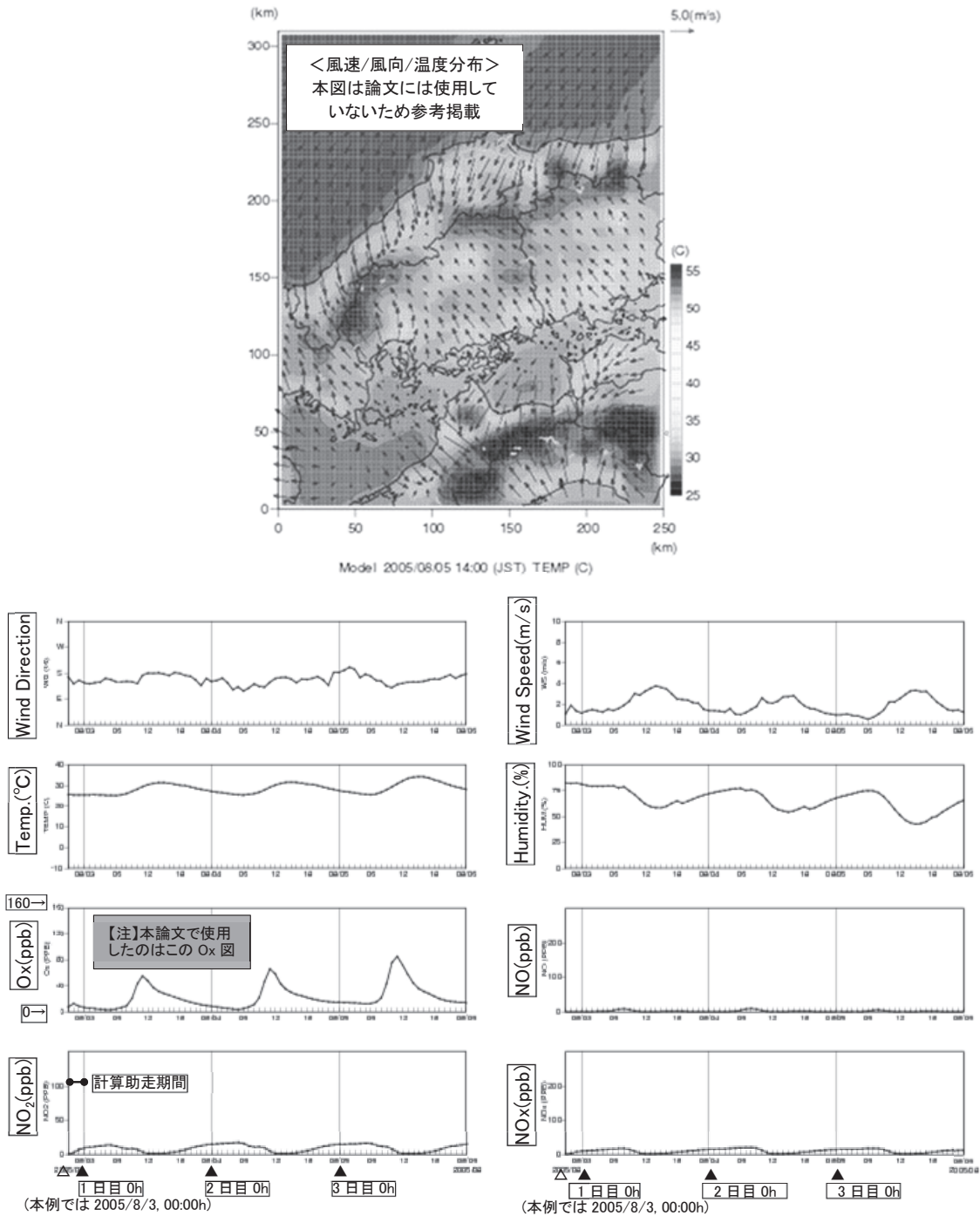
図Ⅲ-4-A 光化学オキシダント実測値 (2/3) [海田]



開始日 00:00 時からの経過時間(h)

図Ⅲ-4-A 光化学オキシダント実測値 (3/3) [大竹]

また、表Ⅲ－１における計算値、すなわち基本ケースにおける光化学オキシダント濃度の他、NO_x濃度、NO濃度、NO₂濃度、温度、湿度、風速、および風向の計算出力例を図Ⅲ－４－Bに示す。なお、出力例に併記したR付番号は、後述する光化学オキシダントケーススタディのインプット条件詳細表における Run No. である。



図Ⅲ-4-B O_x 濃度/NO_x 濃度等計算出力例(基本ケース) 8/3-, 福山地域, R22

枠内: 計算結果の作図機能が不鮮明なため追記

Ⅲ-3.3 光化学オキシダントのシミュレーション（ケーススタディ）

シミュレーションの代表ケースを設定したため、Ⅲ-2に基づいて具体的にインプット条件を設定し、ケーススタディを実施した。この結果（アウトプット）をインプット条件と併せて表Ⅲ-2に示す。

また、実際のケーススタディインプット条件詳細を表Ⅲ-2-Aに示す。

表Ⅲ-2 光化学オキシダントシミュレーション結果と条件

ケース名称 No.	対象期間 (2005年)	インプット			対象地域	アウトプット 光化学 オキシダント ピーク濃度 (ppb)	備考
		相対排出係数(-)					
		NOx	VOC*	CO			
基本 ケース	6/2~6/4, 7/8~7/10, 7/13~7/15, 8/3~8/5, 8/17~8/19	1.0	1.0	1.0	福山地域	表Ⅲ-1 参照	実測値との比較実施
					東広島地域		
					広島地域		
					大竹地域		
代表ケース							
1	8/3~8/5	0.2	1.0	1.0	福山地域	80	
					広島地域	65	
2	8/3~8/5	0.5	1.0	1.0	福山地域	80	
					広島地域	70	
3	8/3~8/5	0.8	1.0	1.0	福山地域	80	本ケースと基本ケース間に NOx10%低減の条件あり
					広島地域	75	
4	8/3~8/5	1.0	1.0	1.0	福山地域	80	基本ケースに同じ
					広島地域	75	
5	8/3~8/5	1.5	1.0	1.0	福山地域	80	
					広島地域	70	
6	8/3~8/5	2.0	1.0	1.0	福山地域	80	
					広島地域	65	
7	8/3~8/5	1.0	0.6	1.0	福山地域	75	
					広島地域	65	
8	8/3~8/5	1.0	0.8	1.0	福山地域	75	
					広島地域	70	
9	8/3~8/5	1.0	1.4	1.0	福山地域	85	
					広島地域	80	
10	8/3~8/5	0.8	0.6	1.0	福山地域	75	
					広島地域	65	
11	8/3~8/5	0.8	0.8	1.0	福山地域	75	
					広島地域	70	

* 人為起源および植物起源合計の相対排出係数

表Ⅲ-2-A 光化学オキシダントケーススタディ/インプット条件詳細

計算プロジェクト				排出シナリオ						出力(備考)		
本文中 ケース 名称/ 番号等	RUN No.	年/月 (2005年)	代表 日付	化学種 モデル名 CBS: 簡易法 CB99: 基本法	排出係数(特記ないとき広島県単独増減,全排出源増減)						温度/濃度分布図 [時刻別] 風速/風向/気温/ O ₃ /NO ₂ /NO等	濃度時系列図 [場所別] (神辺事業所/海田高等) O ₃ /NO ₂ /NO等
					NO _x	CO	SO ₂ (制約有)	VOC	トルエン	キシレン		
					大規模固定源/移動自動車等排出係数							
-	R 1	2005年4月	**-,15-	CBS	1.00	1.00	-	1.00	INPUT	INPUT	予備検討	
-	R 2	7月	08-,13-	CBS	1.00	1.00	-	1.00	INPUT	INPUT	予備検討	
-	R 3	4月	**-,15-	CBS	大規模固定源 のみ0.70,他1.00	1.00	-	1.00	INPUT	INPUT	予備検討	
-	R 4	7月	08-,13-	CBS	大規模固定源 のみ0.70,他1.00	1.00	-	1.00	INPUT	INPUT	予備検討	
比較ケース	R 5	7月	08-,13-	CB99	1.00	1.00	1.00	1.00	INPUT	INPUT	R12比較用	
-	R 6	7月	08-,13-	CB99	0.70	1.00	1.00	1.00	INPUT	INPUT	予備検討	
-	R 7	7月	08-,13-	CBS	0.20	1.00	-	1.00	INPUT	INPUT	予備検討	
-	R 8	7月	08-,13-	CB99	2.00	1.00	1.00	1.00	INPUT	INPUT	予備検討	
-	R 9	7月	08-,13-	CBS	2.00	1.00	-	1.00	INPUT	INPUT	予備検討	
風速/風向/温度分布	R 10	8月	03-,17-	CBS	1.00	1.00	-	1.00	-	-	R22に同じ,2h毎風速温度等出力	
-	R 11	8月	03-,17-	CBS	1.00	1.00	-	1.00	INPUT	INPUT	R10との比較検討(トルエン,キシレン定数有無),影響無	
基本ケース	R 12	7月	08-,13-	CBS	1.00	1.00	-	1.00	-	-	R2に同じ,基本ケース,2h毎温度分布出力	
(不採択CS)	R 13	7月	08-,13-	CBS	0.50	1.00	-	1.00	-	-		
(不採択CS)	R 14	7月	08-,13-	CBS	0.80	1.00	-	1.00	-	-		
(不採択CS)	R 15	7月	08-,13-	CBS	1.50	1.00	-	1.00	-	-		
(不採択CS)	R 16	7月	08-,13-	CBS	1.00	1.00	-	0.00	-	-		
(不採択CS)	R 17	7月	08-,13-	CBS	1.00	1.00	-	2.00	-	-		
(不採択CS)	R 18	7月	08-,13-	CBS	1.00	1.00	-	0.50	-	-		
(不採択CS)	R 19	7月	08-,13-	CBS	0.80	1.00	-	0.50	-	-		
(不採択CS)	R 20	7月	08-,13-	CBS	0.80	1.00	-	0.00	-	-		
基本ケース	R 21	6月	02-,05-	CBS	1.00	1.00	-	1.00	-	-	21R0602,0605	
基本ケース, 代表ケース4	R 22	8月	03-,17-	CBS	1.00	1.00	-	1.00	-	-	22R0803(基本ケース), 0817	
代表ケース2	R 23	8月	03-,17-	CBS	0.50	1.00	-	1.00	-	-	23R0803M50N	
代表ケース3	R 24	8月	03-,17-	CBS	0.80	1.00	-	1.00	-	-	24R0803M80N	
代表ケース5	R 25	8月	03-,17-	CBS	1.50	1.00	-	1.00	-	-	25R0803M150N	
代表ケース6	R 26	8月	03-,17-	CBS	2.00	1.00	-	1.00	-	-	26R0803M200N	
代表ケース1	R 27	8月	03-,17-	CBS	0.20	1.00	-	1.00	-	-	27R0803M20N	
-	R 28	8月	03-,17-	CBS	0.00	1.00	-	1.00	-	-	28R0803CHU大阪0N,V≠0	
参考ケース	R 29	8月	03-,17-	CBS	0.00	1.00	-	0.00	-	-	29R0803MCHOFO0N0V(瀬戸内4県,兵庫,大阪,福岡)	
代表ケース7	R 30	8月	03-,17-	CBS	1.00	1.00	-	0.00	-	-	30R0803M0V	
-	R 31	8月	03-,17-	CB99	0.00	1.00	-	0.00	-	-	31R0803CHOF0N0V(瀬戸内4県,兵庫,大阪,福岡),R29比較用	
代表ケース9	R 32	8月	03-,17-	CBS	1.00	1.00	-	2.00	-	-	32R0803M200V	
代表ケース8	R 33	8月	03-,17-	CBS	1.00	1.00	-	0.50	-	-	33R08M50V	
代表ケース11	R 34	8月	03-,17-	CBS	0.80	1.00	-	0.50	-	-	34R08M80N50V	
代表ケース10	R 35	8月	03-,17-	CBS	0.80	1.00	-	0.00	-	-	35R08M80N0V	

CB99: 基本計算法であり計算期間約2昼夜、計算時間が掛かりすぎるため比較ケースのみ使用

CBS: 簡易計算法であり計算期間約半日、主に使用

予備検討, 追加検討等を目的としたケース(本文には記載無)

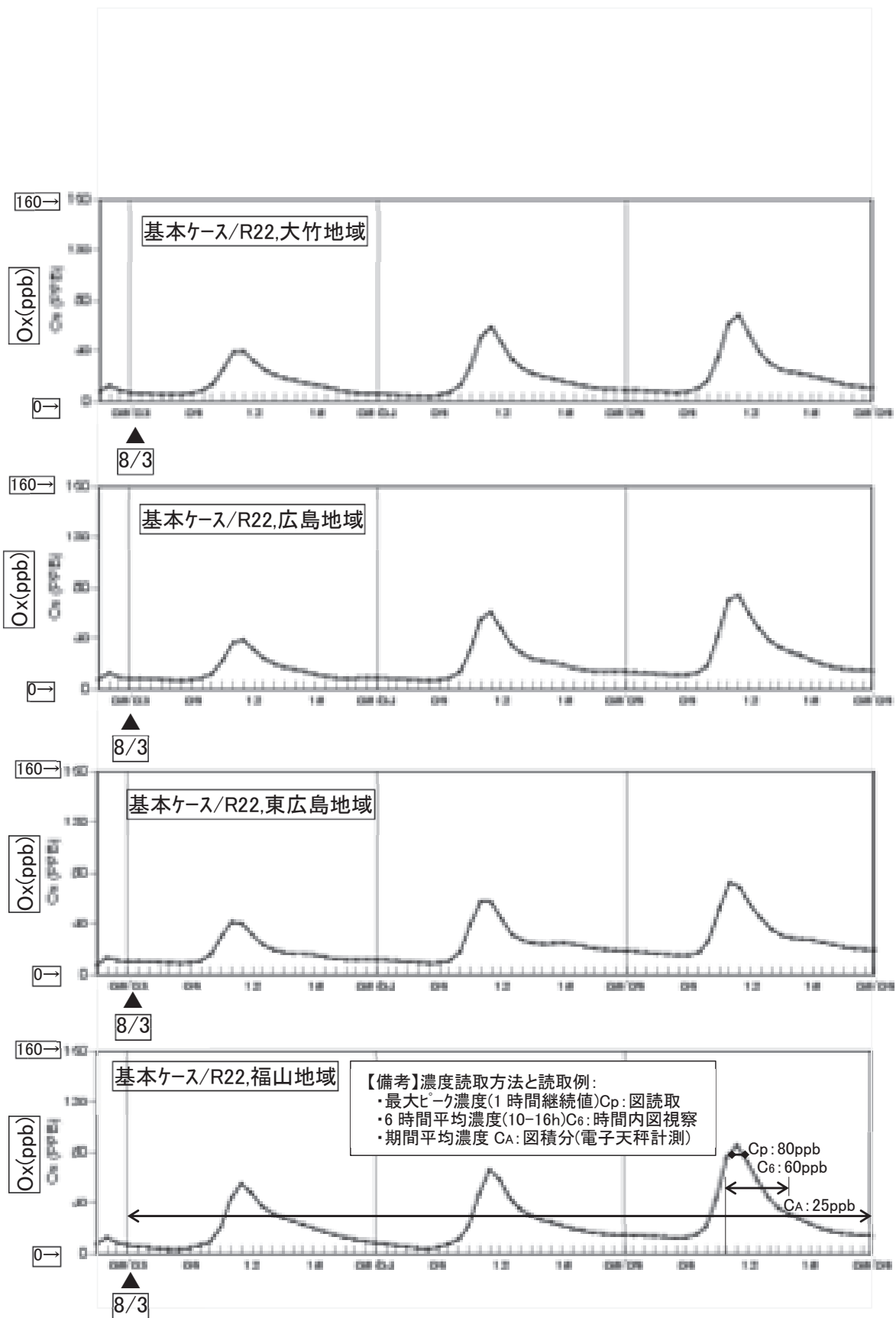
【備考】VOC排出量(t/y)と相対排出係数

VOC源	人為(固定および移動)蒸発源排出係数				
	1.0 基本ケース	0.001	0.5	2.0	3.0
人為(固定燃焼)	47	0	24	94	141
人為(移動発生)	347	0	174	694	1,041
人為(固定蒸発)	1,480	1	740	2,960	4,440
植物(一定値)	3,312	3,312	3,312	3,312	3,312
合計	5,186	3,314	4,249	7,060	8,934
VOC合計排出係数	1.00	0.64	0.82	1.36	1.72

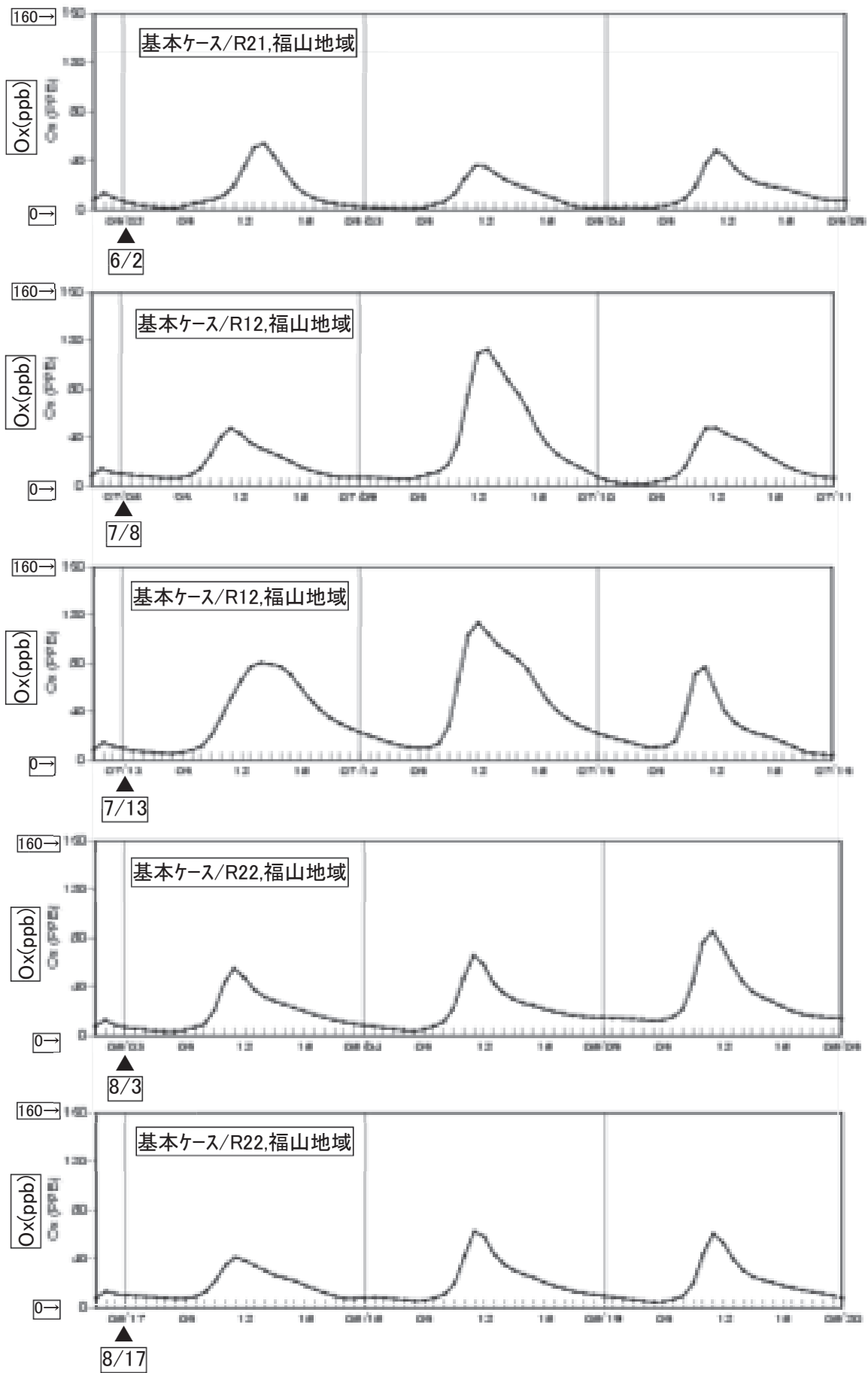
*「EAGgrid-Japan2005年」が基本ケース

ここで、表Ⅲ－２－Aに基づく光化学オキシダント濃度計算の例を図Ⅲ－４－Cに示す。図Ⅲ－４－Cには、福山地域、東広島地域、広島地域、および大竹地域における基本ケースの他、広島地域の代表ケース等も示した。

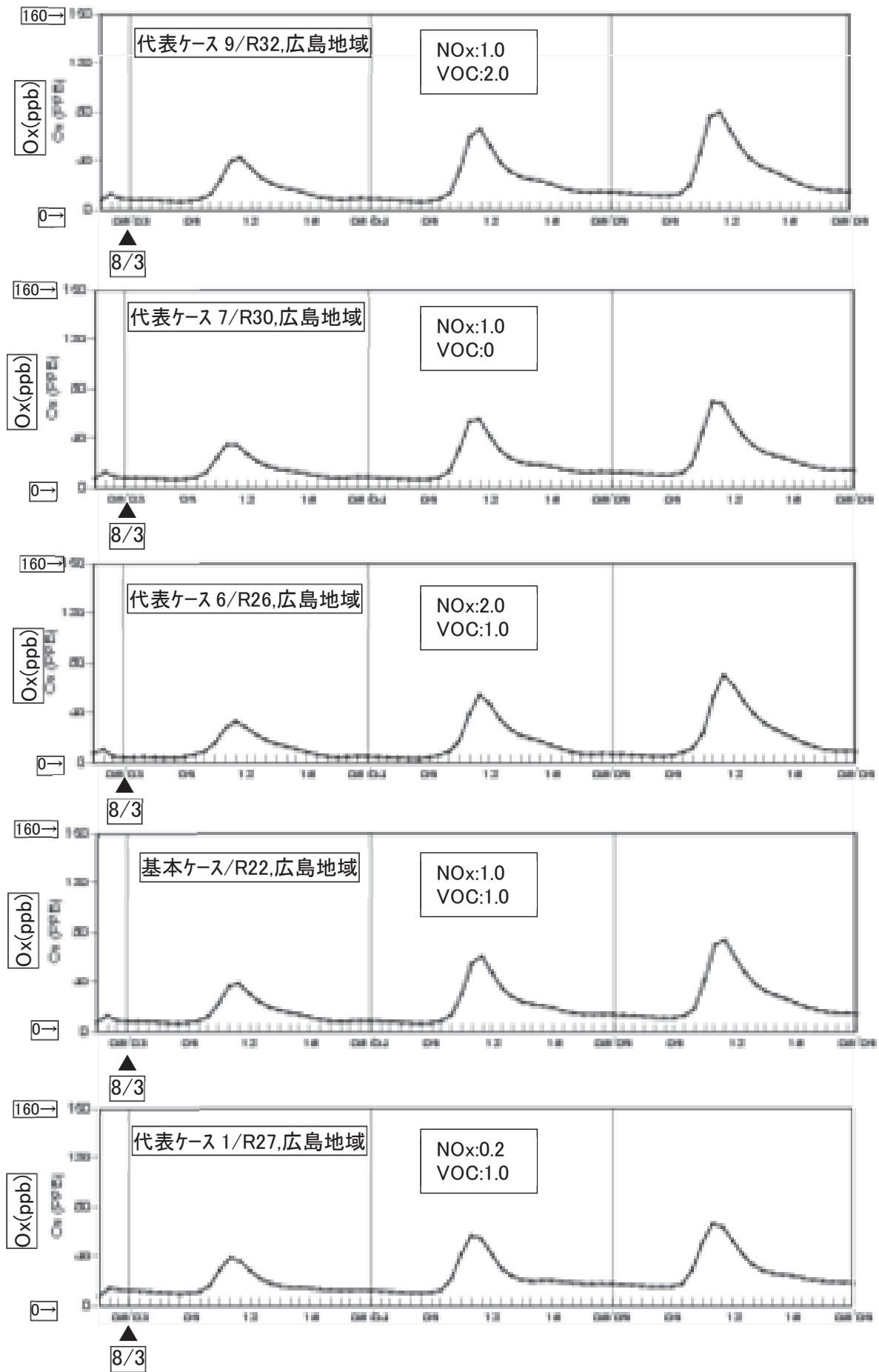
なお、ADMER-PROの計算方法には、基本法（CB99）、および簡易法（CBS）があり、1 RUNに要する時間は、前者が約2昼夜、後者が約半日である。本研究では、計算時間の制約から主に後者を使用した。



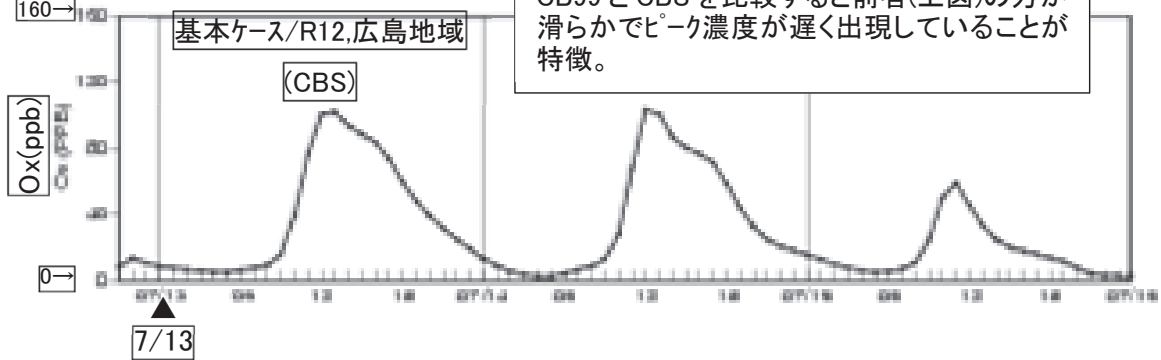
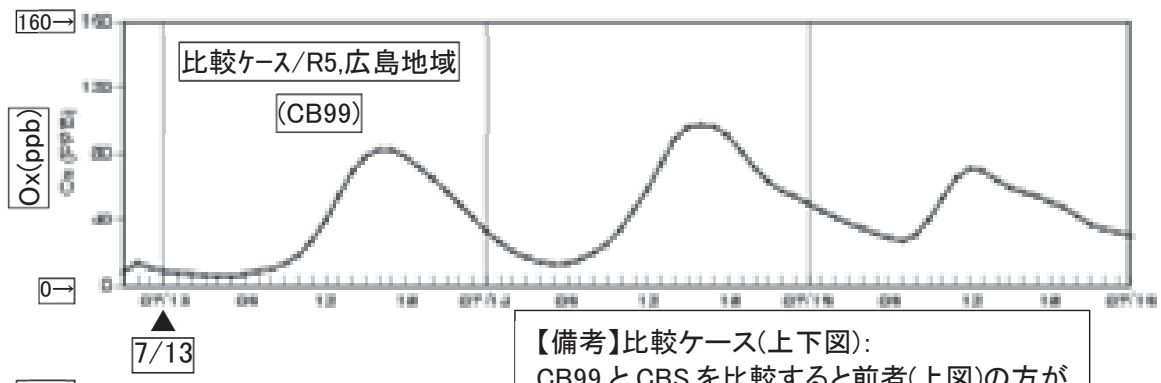
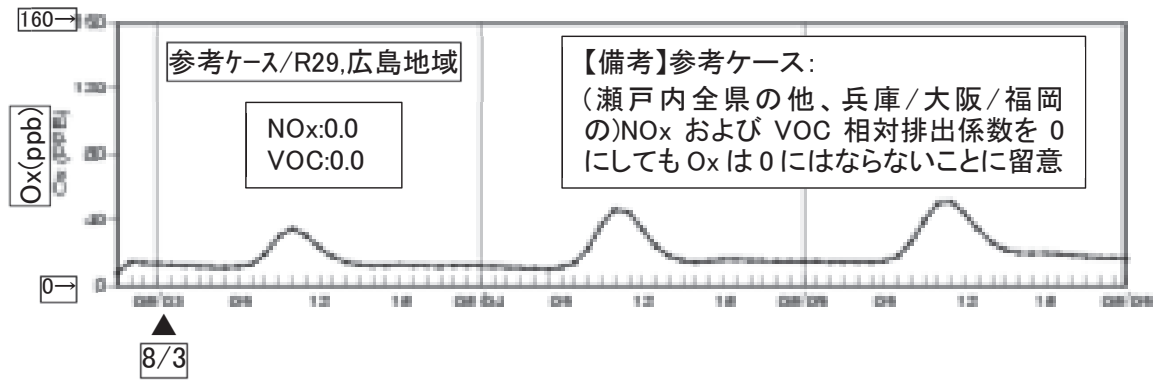
図Ⅲ-4-C 光化学オキシダント濃度計算例 (1/4)



図Ⅲ-4-C 光化学オキシダント濃度計算例 (2/4)



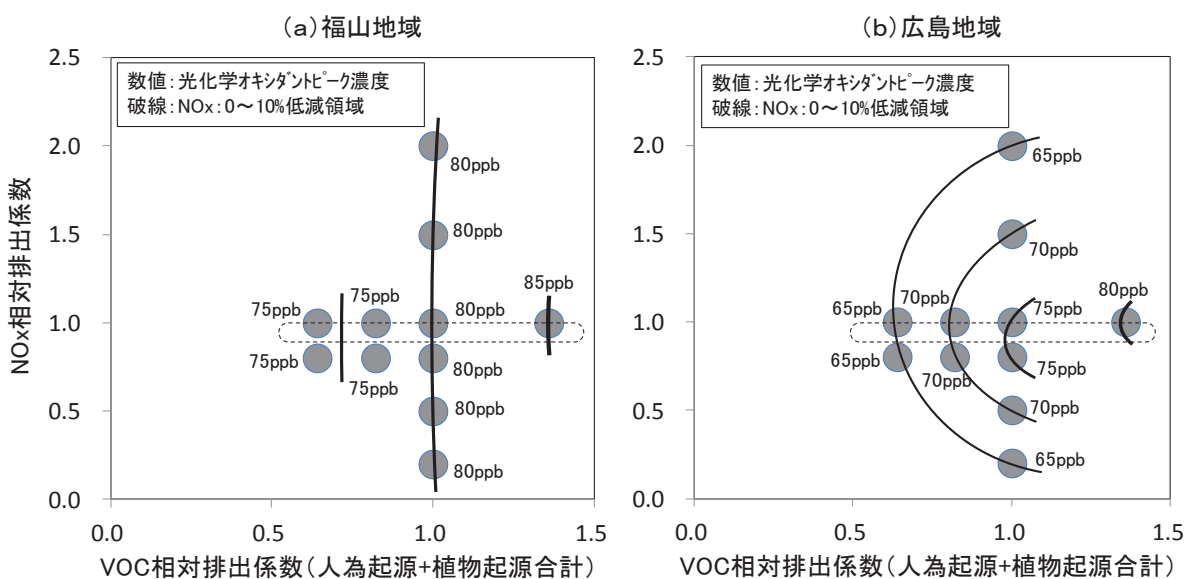
図Ⅲ-4-C 光化学オキシダント濃度計算例 (3/4)



【備考】比較ケース(上下図):
CB99とCBSを比較すると前者(上図)の方が滑らかでピーク濃度が遅く出現していることが特徴。

図Ⅲ-4-C 光化学オキシダント濃度計算例 (4/4)

図Ⅲ－１や先行研究も踏まえて、横軸 VOC 相対排出係数、縦軸 NO_x 相対排出係数として、光化学オキシダントのピークの等濃度線を図Ⅲ－５(a)および図Ⅲ－５(b)にまとめた。なお、横軸、縦軸とも基本ケースを 1.0 に設定した無次元数としており、地球温暖化対策の仮想指針に則した場合の NO_x 排出量の変動を「NO_x : 0～10%低減」領域として破線で示した。



図Ⅲ－５ (a) 光化学オキシダント等濃度線 (代表ケース, 福山地域)
(b) 光化学オキシダント等濃度線 (代表ケース, 広島地域)

図Ⅲ－５(a) (福山地域) では、光化学オキシダントの増減は、NO_x の増減に対してほとんど無関係である。また、VOC を約 0.8 以下 (人為由来のみでは 0.5 以下) にすれば、基本ケースから約 6%低減 (80→75ppb) するが、これ以上低減しても光化学オキシダントの低減は期待できない。

一方、図Ⅲ－５(b) (広島地域) では、NO_x 相対排出係数 0.9 付近に光化学オキシダント濃度の増減の境界があることが特徴であり、NO_x や VOC の増減に対する光化学オキシダントの増減は比較的明確である。光化学オキシダントは、NO_x を約 1.5 倍または約 0.5 倍に増減させるか、VOC を約 0.8 以下 (人為由来のみでは 0.5 以下) に低減すれば、基本ケースから約 7%低減 (75→70ppb) が期待できる。なお、福山地域と異なり、相対排出係数設定の範囲で、光化学オキシダント濃度のさらなる低減が期待できる。

Ⅲ－４．考察

先行研究で示された光化学オキシダントの長期トレンドのうち、越境汚染は、夏はオゾン濃度の低い太平洋高気圧の影響が大きくなるため影響は少ないとされている。今回選定した代表ケース（8月3日～5日）は晴れが主である夏期間であり、ピーク濃度（実測値）も対象地域で約40～100ppbと低濃度地域もあり、越境汚染の影響は少ないと考えられる。

ケーススタディの結果によると、福山地域および広島地域とも地球温暖化対策の結果として期待される「NO_x：0～10%低減」領域では、光化学オキシダント濃度はほとんど変化せず、有効な対策とはなり得ないことが分かった。

地域別にみると、福山地域は、光化学オキシダント低減は、NO_xの低減では効果がなく、VOCの低減に因っても効果は余り期待できないことが分かった。福山市には、全国有数の大手製鉄会社（製鉄所）があり、同市のばい煙発生施設からのNO_x排出量は、県内の5割近くを占めている（環境省，2016d）。県内では、島しょ部近辺に設置されている火力発電所を除いて、これ程大規模なNO_x排出源はない。また、光化学オキシダントピーク濃度（実測値）出現時刻付近のNO_x濃度（実測値）は、福山地域28ppbであり、広島地域10ppbなど他の地域を大きく上回っている（広島県，2016b）。このように福山地域で、VOCの低減に因っても効果が余り期待できないのは、NO_x排出量がVOC排出量を卓越していることに起因している可能性がある。

一方、広島地域は、光化学オキシダント低減は、NO_xの低減も効果があることが分かった。しかし、これに因る場合、0.5倍程度まで低減する必要があり、実質的には困難である。これに対して、VOC排出量の低減に因る場合、人為由来のVOC排出量を50%低減したとき、光化学オキシダントは約7%低減（75→70ppb）が期待できることが分かった。

広島県では、PRTR法に基づきVOCを含む化学物質の排出・移動量届出を管理している。また、一部の測定局でNMHC濃度を監視するなど、既にVOC排出量の低減に向けた対策は実施されており、これらをさらに強化することが求められる。

Ⅲ－５．結言

本研究では、広島県を例にとり、一般公開されているデータで光化学オキシダントの解析・検討を行った。その際、地球温暖化対策も検討し、広島県の実勢を考慮した将来的なCO₂削減の仮想指針を設定した。また、仮想指針に則した場合のNO_x排出量の変動を検討し、光化学オキシダントのシミュレーションを実施するためのケーススタディ条件を設定した。

光化学オキシダントのシミュレーションは、産総研の解析ソフト ADMER-PRO

を使用し、NO_x 相対排出係数と VOC 相対排出係数をパラメータとして実施した。

この結果、次の事項が分かった。1) 福山地域および広島地域とも地球温暖化対策の結果として期待される「NO_x : 0~10%低減」領域では、光化学オキシダント濃度はほとんど変化せず、有効な対策とはなり得ない。2) 福山地域は、光化学オキシダント低減は、余り期待できない。3) 広島地域は、人為由来の VOC 排出量を 50%低減した場合、光化学オキシダントは約 7%低減 (75→70ppb) が期待できる。

このように、光化学オキシダントの有効な低減対策は、同県内でも地域ごとに異なることが分かった。

Ⅲ－謝辞

本研究で使用した産総研の解析ソフト ADMER-PRO を利用するにあたり，産業技術総合研究所・安全科学研究部門の井上和也様から CD の無償提供，使用方法のご指導，その他，技術事項の貴重なアドバイスを戴きました。ここに深く感謝の意を表します。

III - APPENDIX

「広島県 (2016b) 変換前のテキストファイル例 (上) と変換後のエクセルデータ例 (下)」

この細線は読み易くするため編集時に追記

http://www.pref.hiroshima.lg.jp/site

ファイル(F) 編集(E) 表示(V) お気に入り(A) ツール(T) ヘルプ(H)

☆ Yahoo! JAPAN Web スライス ギャラ... おすすめサイ

神辺深品スポーツセンター - メモ帳

ファイル(F) 編集(E) 書式(O) 表示(V) ヘルプ(H)

西暦年	月	日	測定局コード	測定項目コード	1時データ	2時データ	24時データ
4桁	2桁	2桁	4桁	3桁	5桁	5桁	5桁	5桁

(G注) レコード = 135バイト固定長とする。
欠測値は -1001 を入力。

測定局コード表

測定局コード	測定局名	測定局コード	測定局名
0101	大竹児童公園	0113	神辺事業所
0102	大竹湯島団地	0114	府中市教育センター
0103	大野町役場	0115	廿日市桂公園
0104	海田高校	0116	東広島西条小学校
0105	安芸津三津小学校	0117	竹原忠海中学校
0106	竹原高校	0118	三次市十日市町
0107	大嶽(中野)小学校	0119	河内入野
0108	三原沼田東小学校	0120	本郷船小中学校
0109	三原吉沖町	0121	三原吉浦公園
0111	三原第二中学校	0122	北広島町
0112	尾道東高校		

測定項目コード表

測定項目コード	測定項目名	スケール	単位
010	二酸化硫黄		ppb
020	一酸化窒素		ppb
030	二酸化窒素		ppb
040	窒素酸化物		ppb
050	一酸化炭素	0.1	ppm
060	オキシダント		ppb

2005 7240113060-1001 21 21 17 13 12 14 20 29 41
 2005 7250113060-1001 23 22 24 22 14 15 23 34 43
 2005 7260113060-1001 34 32 31 29 31 31 33 33 35
 2005 7270113060-1001 16 13 12 9 8 9 14 21 29
 2005 7280113060-1001 10 11 13 11 8 9 17 21 29
 2005 7290113060-1001 24 21 14 9 9 9 12 17 18
 2005 7300113060-1001 3 5 3 3 3 4 8 23
 2005 7310113060-1001 7 5 5 5 5 5 4 17 23
 2005 810113060-1001 2 2 2 2 3 4 6 13 18
 2005 820113060-1001 8 8 8 5 3 5 9 19 39
 2005 830113060-1001 2 2 2 2 3 6 12 21
 2005 840113060-1001 7 5 4 3 3 4 6 10 20
 2005 850113060-1001 11 8 4 4 6 5 14 19 24
 2005 860113060-1001 24 19 19 10 9 13 17 20 24
 2005 870113060-1001 14 9 6 6 4 5 10 18 26
 2005 880113060-1001 7 5 4 5 3 5 12 20 29
 2005 890113060-1001 10 6 4 3 3 6 12 23 29
 2005 8100113060-1001 7 4 4 3 2 3 6 12 18
 2005 8110113060-1001 2 2 2 2 2 2 4 10 16
 2005 8120113060-1001 13 7 6 2 3 3 4 6 10
 2005 8130113060-1001 10 7 4 3 2 3 7 11 15
 2005 8140113060-1001 10 12 13 12 10 9 12 12 17
 2005 8150113060-1001 25 24 27 27 23 25 30-1001-1
 2005 8160113060-1001 2 2 3 3 2 6 14 23
 2005 8170113060-1001 14 12 11 9 5 7 12 17 27
 2005 8180113060-1001 23 17 12 9 8 11 18 26 42
 2005 8190113060-1001 11 7 8 10 7 6 9 21 41
 2005 8200113060-1001 13 10 8 7 6 7 14 22
 2005 8210113060-1001 4 4 4 3 2 4 4 8 10
 2005 8220113060-1001 5 5 4 3 4 3 6 14 20
 2005 8230113060-1001 7 4 4 5 5 6 11 24 30
 2005 8240113060-1001 26 23 24 21 20 19 21 25 30
 2005 8250113060-1001 24 16 11 7 4 5 9 15 22
 2005 8260113060-1001 12 10 11 8 4 8 23 28 34
 2005 8270113060-1001 15 18 8 10 8 11 17 32 43
 2005 8280113060-1001 28 30 30 31 32 26 35 40 47
 2005 8290113060-1001 15 18 16 11 6 10 18 29-1001-1

☐ : 当該日付のOx7-ケ濃度

年	月	日	神辺コード	OXコード	上段:時刻/下段:濃度(ppb)																							
					0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
2005	8	5	113	60	-1001	11	8	4	4	6	5	14	19	24	39	48	48	75	102	93	81	68	65	68	63	41	38	35
					[Ox6時間平均濃度] Av. 69																							

年	月	日	神辺コード	NOxコード	上段:時刻/下段:濃度(ppb)																							
					0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
2005	8	5	113	40	15	14	14	14	15	13	19	19	18	12	13	19	34	33	16	24	50	44	31	19	21	25	25	18
					[Ox7-ケ直近NOx平均濃度] Av. 28																							

年	月	日	海田コード	OXコード	上段:時刻/下段:濃度(ppb)																							
					0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
2005	8	5	104	60	-1001	3	3	3	3	3	4	6	11	15	19	23	35	50	53	62	59	33	28	17	10	9	6	3
					[Ox6時間平均濃度] Av. 43																							

年	月	日	海田コード	NOxコード	上段:時刻/下段:濃度(ppb)																							
					0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
2005	8	5	104	40	49	55	61	60	55	56	80	46	30	31	27	17	12	9	10	11	14	55	21	24	33	21	29	43
					[備考]夜間のNOx濃度は神辺より高い。 [Ox7-ケ直近NOx平均濃度] Av. 10																							

年	月	日	大竹コード	OXコード	上段:時刻/下段:濃度(ppb)																							
					0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
2005	8	5	101	60	8	7	7	2	3	3	4	6	8	14	-17	1001	10	15	28	42	39	29	16	15	15	16	15	10
					[Ox6時間平均濃度] Av. 27 remark																							

年	月	日	大竹コード	NOxコード	上段:時刻/下段:濃度(ppb)																							
					0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
2005	8	5	101	40	9	10	6	11	11	10	8	8	39	42	23	14	16	20	18	14	18	15	5	5	4	3	3	6
					[Ox7-ケ直近NOx平均濃度] Av. 17																							

[備考][西条は大半の日時の有効データ無]、Ox: 光化学オキシダント、-1001等: データエラー

Ⅲ－引用文献

- 秋元肇・河村公隆・中澤高清・鷺田伸明 (2002) 『対流圏大気の化学と地球環境』
学会出版センター, pp. 63-73.
- アジア大気汚染研究センター(2007)「排出インベントリとは何か(2007年3月)」,
<http://www.acap.asia/acapjp/doc/emissionjp.pdf>, 2016年6月16日閲覧.
- 千葉県 (2011)「窒素酸化物排出量の算出方法とその結果について(資料4)平成23年6月1日」,
<https://www.pref.chiba.lg.jp/taiki/shingikai/documents/20110601siryou4.pdf>, 2016年6月9日閲覧.
- Finlayson-Pitts, B. J and Pitts, Jr. J. M. (1986) Atmospheric Chemistry: Fundamentals and Experimental Techniques, Wiley-Interscience, New York, pp. 611.
- 福井哲央・國領和夫・馬場剛・神成陽容 (2014)「大気排出インベントリ EAGrid2000-Japan の年次更新 技術調査報告」『大気環境学会誌』第49巻第2号, pp.117-125.
- 畠山史郎 (2015)「特集大気汚染物質の分析化学 大気汚染物質の化学と分析」『ぶんせき』2015年10号, pp.425-428.
- 広島県 (2011)「第2次広島県地球温暖化防止地域計画」,
<https://www.pref.hiroshima.lg.jp/site/eco/b-b12-plan22-keikaku.html>,
2016年6月9日閲覧.
- 広島県 (2016a)「環境白書・環境データ集」,
<http://www.pref.hiroshima.lg.jp/site/eco/b-index.html#hakusho>,
2016年6月22日閲覧.
- 広島県 (2016b)「広島県大気汚染常時監視結果」,
<http://www.pref.hiroshima.lg.jp/site/eco/e-e1-data-index.html>,
2016年11月15日閲覧.
- 井上和也・安田龍介・吉門洋・東野晴行 (2010)「関東地方における夏季地表オゾン濃度のNO_x, VOC 排出量に対する感度の地理分布」『大気環境学会誌』第45巻第5号, pp.183-194.
- 井上和也・東野晴行 (2015)「2次生成対応大気モデル ADMER-PRO の開発と検証」『大気環境学会誌』第50巻第6号, pp.278-291.
- 環境省 (2016a)「2020年に向けた我が国の新たな温室効果ガス排出削減目標」,
<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/ert2020.html>,
2016年6月16日閲覧.
- 環境省 (2016b)「地球温暖化対策計画の閣議決定について」,
<https://www.env.go.jp/press/102512.html>, 2016年11月22日閲覧.

- 環境省 (2016c) 「平成 28 年版環境白書・循環型社会白書・生物多様性白書」
pp. 104-125.
- 環境省 (2016d) 「大気環境に係る固定発生源状況調査結果」,
<http://www.env.go.jp/air/osen/kotei/index.html>, 2016 年 6 月 16 日閲覧.
- 気象庁 (2016) 「過去の気象データ検索」,
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/>, 2016 年 11 月 15 日閲覧.
- 光化学オキシダント対策検討会 (2005) 「光化学オキシダント対策検討会報告」,
<http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/air/attachement/oxhoukoku.pdf>,
2016 年 6 月 16 日閲覧.
- 光化学オキシダント調査検討会 (2012) 「光化学オキシダント調査検討会報告書」,
http://www.env.go.jp/air/osen/pc_oxidant/conf/chosa.html,
2016 年 11 月 15 日閲覧.
- 光化学オキシダント調査検討会 (2014) 「光化学オキシダント調査検討会報告書」,
https://www.env.go.jp/air/osen/pc_oxidant/conf/chosa/h25_rep-1.pdf,
2016 年 6 月 16 日閲覧.
- 森川多津子 (2010) 「大気モデル第 1 講－排出インベントリー」『大気環境学会誌』第 45 巻第 5 号, pp. A75-A82.
- 大原利眞・鶴野伊津志・黒川純一・早崎将光・清水厚 (2008) 「2007 年 5 月 8, 9 日に発生した広域的な光化学オゾン汚染－オーバービュー－」『大気環境学会誌』第 43 巻第 4 号, pp. 198-208.
- 産業技術総合研究所 (2011) 「ADMER PRO version0.8B 技術解説書」,
https://admer-pro.aist-riss.jp/wp-content/uploads/sites/92/2015/08/ADMER-PRO_V08B_techdisc.pdf, 2016 年 6 月 22 日閲覧.
- 産業技術総合研究所 (2012) 「ADMER Pro version 1.0 操作マニュアル」,
https://admer-pro.aist-riss.jp/wp-content/uploads/sites/92/2015/08/ADMER-PRO_V10_manual.pdf, 2016 年 6 月 22 日閲覧.
- S. Sillman (1999) The relation between ozone, NO_x and hydrocarbons in urban and polluted rural environments, *Atmospheric Environment* 33, pp. 1821-1845.
- 東京都環境局環境改善部 (2005) 「光化学オキシダント対策検討会報告について」『大気環境学会誌』第 40 巻第 6 号, pp. A65-A77.

第Ⅳ章 総合考察

第Ⅱ章において、国の補助事業のうち CO₂ 削減単価が公開されている事業を代表事業として選定し、これらの CO₂ 削減量や短期的・中期的な CO₂ 削減予想の評価を行ったところ、代表事業の全事業に対する位置付は妥当である、との結論を得た。全事業の目標、すなわち国の短期的・中期的な CO₂ 削減目標は、パリ協定を充分達成するよう設定されているものと想定されるが、その根拠は公開されていない。また、パリ協定の目的に「世界の気温上昇を産業革命前から 2°C より充分低く抑える」とあるが、日本を含む海外各国個別の削減目標により、この目的が達成可能かどうかも検証されている訳ではない。地球温暖化対策に関して、海外各国でも個別の政策・施策があり、将来的には、国の事業の他、海外各国の実勢も考慮して総合的な評価を行うことが必要になる。これらを鑑み、地球温暖化対策に関する事業に関して、Ⅳ－1 およびⅣ－2 で総合考察を行った。また、第Ⅲ章において、広島県の CO₂ 削減目標の仮想指針（短期目標）に則して光化学オキシダントのシミュレーションを行い、この仮想指針の結果として想定される NO_x の低減では、有効な対策にはなり得ないこと、VOC の低減は広島地域では有効であるが、福山地域では効果が劣ることを確認した。Ⅳ－3 では、この結果が広島県全体ではどのような評価になるのか、さらに、国の長期目標が達成された場合、光化学オキシダント濃度はどのようなようになるのかについて総合考察を行なった。

Ⅳ－1. 地球温暖化対策に関する補助事業以外の事業と海外事例

地球温暖化対策に関する事業は、国の事業、地方公共団体の事業、および民間の事業に大別される。このうち、2017 年度の国の予算は約 8,200 億円であり（環境省、2017）、さらにそのうち補助事業の予算は約 2,800 億円である。このように、補助事業の予算は国の予算の 30% 余りであり、大勢を占めるまでには至っていない。本研究で評価した補助事業以外の事業例として、農林水産省所管の森林環境保全整備事業、文部科学省所管の先端的低炭素化技術開発、復興庁の山地治山総合対策事業が挙げられる。これらは各々所管府省が異なり、事業完了後の成果報告も各府省の政策・施策に主眼が置かれたものとなっている。例えば、「森林環境保全整備事業」の予算は 795 億円であり、補助事業のうち予算額最大の「省エネルギー投資促進に向けた支援補助金事業」（予算 673 億円）をも上回っているが、成果報告は造林実績等が記載されているだけで、温室効果ガスの削減実績については何も触れられていない。国の補助事業は、エネルギー使用合理化のための設備導入事業、ハイブリット車等のクリーンエネルギー自動車導入事業等、市民レベルでも馴染みが深い事業が多く、本研究で示した

ように多少なりとも事業成果を推定することは可能である。一方、それ以外の事業は、行政の担当者や事業の受託者等の当事者を除けば、事業内容の情報は乏しい場合が多く、市民レベルで評価することは困難であり、これらも行政の情報公開が望まれる。

他方、海外の地球温暖化対策に関する事例として、環境先進国とされるドイツでは、石炭火力発電の効率改善や再生エネルギーの役割増加等に重点が置かれている。特に風力発電に力を置くオランダも同様である。日本の再エネ固定買取制度はドイツ等での実績を踏まえて実施されたものである（笠原ら，2012）。これに対して、日本では、事業者が実施主体となる補助事業制度が数多く設定されている。例えば、「革新的な省エネルギー技術の開発促進事業」は、事業者からの積極的、かつユニークな新技術の提案を想定しており、東日本大震災を経験した日本では、時々の実勢に柔軟に対応できるよう多様な制度が設定されていることが特徴である。

IV-2. 補助事業における CO₂ 削減量実績値と PDCA

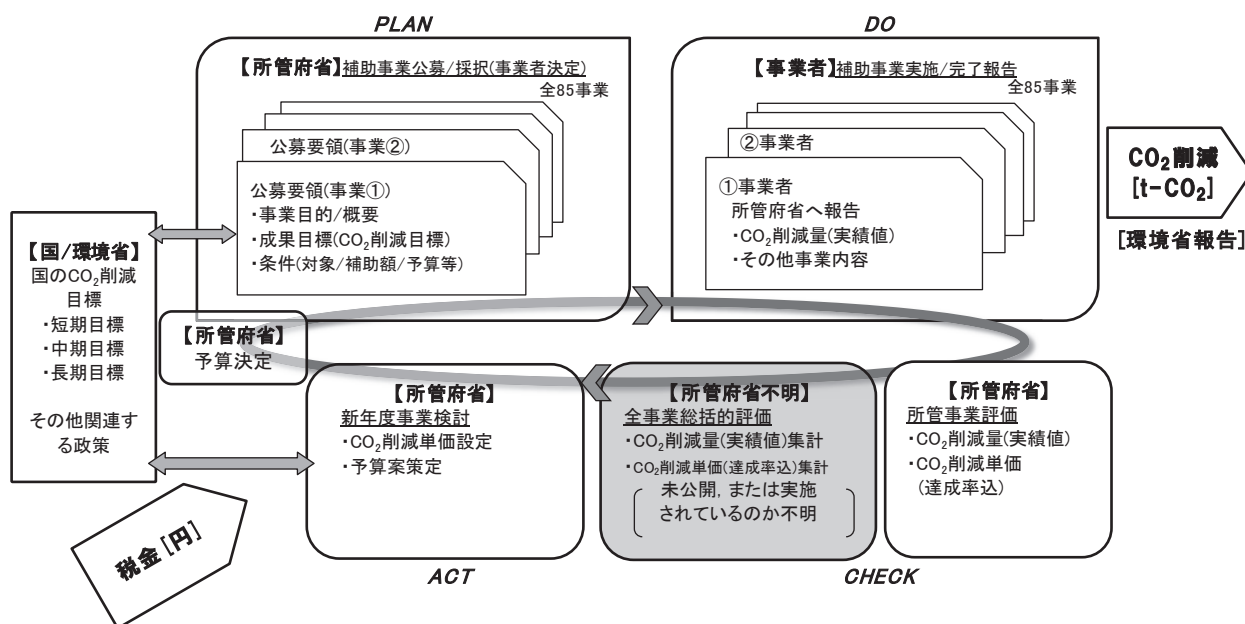
第II章に記載したとおり、現状、補助事業における CO₂ 削減量の実績値は公開されておらず、これを把握することは困難であり、本研究では補助事業の事業化達成率は全て 1.0 とした。しかし、今後、補助事業の評価の精度を上げるためには、CO₂ 削減量実績値の正確な把握（モニタリング）も必要になってくる。このモニタリングは、全事業で横断的な方法を定めることは現実的ではなく、実勢を考慮して以下を提言する。

1)モニタリングの対象事業を CO₂ 削減量が多いか、予算規模が大きい事業に限定する。例えば【エネ合】、【ZEH】、【CEV】に限定する。2)これらの事業は事業完了後、数年間のモニタリングを義務付ける。補助金受給額が上位の補助事業者に限定してもよい。3)事業の実態に応じてモニタリング要領を詳細に定める。例えば、【エネ合】は省エネルギー量が CO₂ 削減量に比例すると予想され、期間毎の設備稼働トレンドとエネルギー使用量の報告を義務付ける。【ZEH】も同様である。【CEV】は期間毎の燃料使用量の他、走行距離や可能であれば走行モードの報告も義務付ける。4)モニタリング結果は全て公開する。

このように、設備から排出される CO₂ 量を直接モニタリングするのではなく、費用面や実施の簡便性から、設備や車の使用状況をモニタリングし、これから CO₂ 削減量の実績値を算定する方法が現実的である。また、事業者のモニタリングの負担を考慮し、当面は予算規模の大きい事業や受給額が多い事業者に限定する等の対応も必要である。

一方、補助事業の制度は、この CO₂ 削減量実績値も考慮して、毎年改廃されているものと想定されるが、国がどのようにして 80 件以上もの補助事業の PDCA

(Plan, Do, Check, Action) を行っているのかは、未公開の事項が大半である。仮に、一般的な政策・施策と同じように PDCA が行われていると仮定すれば、図 IV-1 のようなサイクルであると想定される。



図IV-1 補助事業のPDCA (想定)

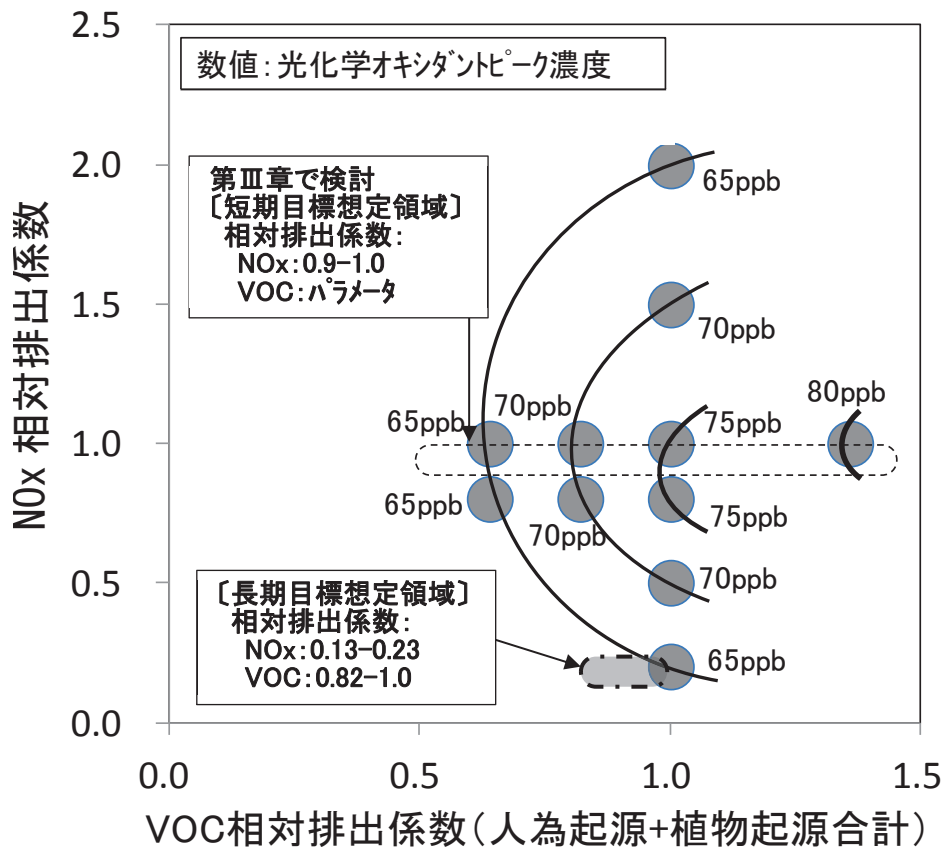
すなわち、1) 事業目的や成果目標等を記載した公募要領により公募が開始され、事業者が採択される。2) 事業者は事業を実施し、完了後に成果 (CO₂削減量等) を所管府省へ報告する。3) 所管府省は CO₂ 削減量を含む事業評価を行う。4) (所管府省不明なるも) CO₂ 削減量実績値を集計して全事業の総括的評価を行う。5) 評価結果を再度所管府省に展開し、新年度事業の検討を行う。

毎年、これらの繰り返しと想定されるが、CO₂削減やその単価設定に関する事項で明確に公開されているのは、各事業の公募要領、全事業の予算、および全CO₂削減量のみであり、個々の補助事業を評価できる程の十分な情報はない。また、所管府省が異なる全補助事業の横断的・総括的な評価自体、実施されているのか、実施されているのであればその所管府省はどこか等は未公開のままである。さらに、地球温暖化対策に関する事業であっても、CO₂削減量の報告義務がない事業もあり、事業完了後、数年間にわたりCO₂削減量のモニタリングやモニタリングに基づく精度の高い事業化達成率の報告まで義務付けている事業は少数である。補助事業に限らず、国の事業は多額の税金により賄われているものであり、今後、これらに関する行政の情報公開が望まれる。

IV-3. 地球温暖化対策に伴う光化学オキシダント低減

広島県のCO₂削減目標の仮想指針（短期目標）に伴う光化学オキシダント低減効果として、福山地域は、光化学オキシダント低減は余り期待できないが、広島地域は、人為由来のVOC（揮発性有機化合物）排出量を50%低減した場合、光化学オキシダントは約7%低減が期待できることが分かった。また、このように、光化学オキシダントの有効な低減対策は、広島県でも地域ごとに異なることも分かった。広島県の環境データ集（広島県、2017）によると、光化学オキシダント測定のために設置された一般環境大気測定局は、庄原市を除く全市と一部の町の計19地域・28箇所に設置されている。なお、広島県では自動車排出ガス測定局で光化学オキシダントを測定している局はない。このように、広島県の光化学オキシダントに関する評価単位は、計19地域・28箇所の測定局の結果集計によるものであり、福山地域に限って低減対策が困難であっても、広島地域を含む他地域の低減対策を行うことにより、広島県全域（行政単位）としての低減効果は表れる。また、本研究では広島県において特徴が異なる4都市を評価しており、福山地域は大規模なNO_x排出源があること、広島地域は人口約百万人の典型的な支店経済都市であること、大竹地域は中小都市であるが周辺地域も含めて化学工業が発達していること等により、これらの評価結果は全国の類型都市にも広く適用できる可能性がある。

他方、国の長期目標は「2050年までに1990年比で80%削減（広島県の基準年2005年比で82%削減）」であり、この長期目標を想定して広島地域における光化学オキシダント低減効果を検討する。第III章で述べたとおり、NO_x低減量は、概ねCO₂削減量に比例するものと想定されるが、不確定要因も見込み、第III章での検討と同様に10%の幅を持たせて77~87%（82%±5%）、すなわち、NO_x相対排出係数基準で0.13~0.23と設定する。VOCの長期的な削減量は不明であるが、現状（相対排出係数1.0）～人為起源VOC半減（相対排出係数0.82）の範囲で削減量を設定する。この削減領域を「長期目標想定領域」として、広島地域における光化学オキシダント等濃度線に加えて図IV-2に示す。なお、福山地域はNO_x増減に対する光化学オキシダント濃度の感度が極めて鈍いため、検討対象から外した。



図IV-2 光化学オキシダント等濃度線（広島地域，CO₂削減長期目標想定）

図IV-2の「長期目標想定領域」では，CO₂の大幅削減に伴い，光化学オキシダント濃度も約13%低減（75→65ppb）している。この低減度合は，NO_xが1.0（現状）の場合ではVOC約0.6（人為由来のみでは0）に相当するが，これ程のVOC低減は実質的には困難である。また，この領域では，VOCに対する感度はNO_xが1.0の場合より，鈍くなっており，換言すればVOCに余り影響されない領域といえる。以上のとおり，国の長期目標どおりCO₂が大幅に削減されれば，VOCの低減度合いに余り関係なく，光化学オキシダント低減が達成されることが分かった。

IV-4. 温室効果ガスと光化学オキシダント前駆体との関係

本研究では，温室効果ガスとCO₂は，厳密な定義の記載部分を除いて特に区別しないこととしたが，温室効果ガスにはCO₂以外，N₂O（一酸化二窒素）やHFC

(ハイドロフルオロカーボン) も含まれている。このため、光化学オキシダント低減の観点から N_2O とその効果に着目する。 N_2O は農地に散布された窒素肥料から多く発生する。また、HFC は光化学オキシダントの生成に大きく影響を与える VOC の一種である。しかし、温室効果ガス排出量に占める寄与割合は、 CO_2 が 90%以上を占めるのに対して、 N_2O が約 2%、HFC が約 3%であり (環境省, 2016)、光化学オキシダント低減の観点から後二者を徹底的に低減しても、地球温暖化対策に対する効果は僅かである。

また、第Ⅲ章において、地球温暖化対策 (短期目標) の観点から CO_2 を削減した場合、 NO_x もこれに伴い低減するが、これも光化学オキシダント低減には殆ど影響を及ぼさないことも確認した。

これらから、地球温暖化対策と光化学オキシダント低減対策において、その原因となるガスの排出量増減には密接な関わりがあるが、相互の対策に直接影響を及ぼす程ではなく、現状、行政で実施しているように、対策は個別に実施する必要があることが分かった。

第Ⅱ章の地球温暖化対策に関する評価、第Ⅲ章の地球温暖化対策を考慮した光化学オキシダント低減に関する評価、および本章の総合考察により、将来、これらの評価がより精度高く実施され、様々な対策により貢献できるようになることを期待する。

IV－引用文献

- 環境省 (2016) 「2015 年度 (平成 27 年度) の温室効果ガス排出量 (確報値)」,
http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg-mrv/emissions/results/material/kakuhou_gaiyo_2015.pdf, 2018 年 1 月 13 日閲覧.
- 環境省 (2017) 「2017 年度 (平成 29 年度) 地球温暖化対策関係予算案について」,
<http://www.env.go.jp/press/103717.html>, 2017 年 10 月 13 日閲覧.
- 笠原三紀夫・東野達・酒井広平 (2012) 『CO₂の Q&A50』丸善出版, pp. 60.
- 広島県 (2017) 『平成 28 年度広島県環境データ集』広島県.

謝辞

本研究を遂行し、博士論文を執筆するにあたり、終始ご指導・ご鞭撻を戴いた広島大学大学院生物圏科学研究科・佐久川弘教授に深く感謝いたします。また、終始ご助言を戴いた同研究科・中坪孝之教授，長尾正之客員教授，および竹田一彦准教授に感謝いたします。

最後に、社会人として博士課程への入学を許可戴き、学業と業務の両立にご理解・ご支援を戴いた勤務先の公益財団法人中国地域創造研究センター，および出向元の三菱重工業株式会社の職場の皆様感謝します。