

平成 22 年度
船舶・航空機排出大気汚染物質削減に関する検討調査
報 告 書

平成 23 年 3 月
株式会社 環境計画研究所

はじめに

船舶及び航空機からの排出ガス対策については、船舶では IMO (国際海事機関)、航空機では ICAO (国際民間航空機関) において、それぞれ国際的な枠組みの中で規制強化の議論が進められているところである。

船舶からの大気汚染物質等の排出削減については、IMO において船舶からの大気汚染物質の排出について段階的に強化する改正がなされた。これを受け、我が国においても「海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律等の一部を改正する法律」を平成 22 年 5 月 19 日に公布した。

また、航空機からの大気汚染物質等の排出削減については、ICAO において「国際民間航空条約付属書 16」に、航空機エンジン排出ガスに関する基準が定められており、我が国においても「航空法」によりこれに準じた規制がなされている。

SPM や NO₂ の環境基準達成率が全国的に改善傾向にあるなか、船舶及び航空機の排出ガス対策は自動車に比べ遅れており、既存の知見も少ないのが現状である。また、大都市地域において環境基準を達成していない地域が残されており、NO_x・PM 等の排出源として相当の割合を占めていると考えられる船舶からの排出ガスの対策の推進が必要である。

そこで、本調査では、大気汚染常時監視測定局の測定結果を分析するとともに、排出量の推計手法等を整理し、「船舶・航空機排出大気汚染物質削減技術・効果検討会」において、港湾、飛行場周辺における大気汚染状況の実態把握方法等の検討を行った。検討会では、学識経験者、業界団体からの委員の参画を得て、平成 22 年 11 月より 3 回にわたり議論を重ね、港湾、飛行場周辺における大気汚染状況等について最新の情報を整理することができたと考えている。今後、本調査の結果が、船舶及び航空機排出ガス対策の適切な実施に資すること期待する。

本調査の実施に当たって検討会にご参画いただいた委員各位には厚く御礼を申しあげる次第である。

平成 23 年 3 月
株式会社 環境計画研究所

Summary

Emissions from ships and aircrafts are internationally regulated within the frameworks of International Maritime Organization (IMO) and International Civil Aviation Organization (ICAO) respectively. There have been continuous discussions to strengthen the measures for these emissions.

To reduce the emission of air pollutants from ships, IMO revised the convention to introduce gradually stringent measures. As a response, Japan promulgated a revised Law relating to the Prevention of Marine Pollution and Maritime Disaster on May 19, 2010.

Regarding the emission from aircrafts, the emission standards of air pollutants are defined in Convention on International Civil Aviation Annex 16 adopted in ICAO, and these emission standards are incorporated into Civil Aeronautics Act of Japan.

While the attainment rates of air quality standards for SPM and NO_x have improved as the vehicle measures have been reinforced, the emissions from ships and aircrafts are less regulated and there is little information available in this area. Given the fact that some urban areas have not yet attained the air quality standards, it is necessary to promote the measures for emissions from ships, which are believed to constitute a significant source of NO_x/PM emissions.

This research studied and examined mainly the following topics, by setting up a “committee to examine the technology to reduce the air pollutant emissions from ships and aircrafts and their effect”;

- Determining the general situations of air pollution around ports and airports, by analyzing the air quality monitoring data (trend analysis, monthly and hourly analysis, and analysis by wind direction)
- Information gathering on the methods to determine the amounts of emissions from ships and aircraft, and their impacts on air quality
- Bibliographical review related to the impact of the emissions of air pollutants on human health and environment

船舶・航空機排出大気汚染物質削減技術・効果検討会 委員名簿

(五十音順 敬称略)

氏名	所属	役職
石田 武志	日本工業大学 工学部 ものづくり環境学科	講師
上田 佳代	独立行政法人国立環境研究所 環境健康研究領域 環境疫学研究室	研究員
亀山 道弘	独立行政法人海上技術安全研究所 海洋環境評価系 環境影響評価研究 グループ	グループ長
菊間 英行	成田国際空港株式会社 地域共生部	担当部長
鈴木 孝治	慶應義塾大学理工学部応用化学科	教授
橋本 弘樹	財団法人空港環境整備協会 航空環境研究センター 調査研究部	副主任研究員
速水 洋	財団法人電力中央研究所 環境科学研究所 大気・海洋環境領域	上席研究員
伏見 暁洋	独立行政法人国立環境研究所 化学環境研究領域 有機環境計測研究室	研究員
藤原 仁志	独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 航空プログラムグループ 環境適応エンジンチーム	主任研究員
前田 和幸	独立行政法人水産大学校 海洋機械工学科	教授

目次

第1章 調査の概要.....	1
1.1 調査の背景と目的	1
1.2 今年度の調査の範囲	1
1.3 調査の内容	1
1.3.1 船舶・航空機排出大気汚染物質の排出量推計調査	1
1.3.2 船舶・航空機排出大気汚染物質による影響調査	2
1.3.3 船舶・航空機排出大気汚染物質削減国際動向調査	2
1.3.4 検討会の設置・運営	2
第2章 港湾部・飛行場周辺における大気汚染状況調査.....	3
2.1 大気汚染常時監視測定局の測定データの分析方法	3
2.1.1 解析に利用した常時監視測定局の測定データ	3
2.1.2 分析対象とした物質	3
2.1.3 測定データの整理対象とした港湾及び飛行場	3
2.1.4 分析対象とした常時監視局の範囲.....	4
2.1.5 風向別データの分析対象とした港湾及び飛行場の選定方法.....	5
2.1.6 各データの分析方法	9
2.2 大気汚染常時監視測定局の測定データの分析結果	10
2.2.1 港湾周辺の分析結果	10
2.2.2 飛行場周辺の分析結果	25
第3章 船舶・航空機大気汚染物質の排出量推計手法調査.....	38
3.1 背景・目的.....	38
3.2 推計区分	38
3.3 既存文献における推計の実施もしくは手法の提示状況	38
3.4 各手法における必要なデータ種類と入手難易度.....	41
第4章 船舶・航空機排出大気汚染物質の環境濃度寄与率把握手法の調査.....	47
4.1 背景・目的.....	47
4.2 ECA 指定の際に必要なとされる情報 (ECA の設置に関する過程)	47
4.3 北米 ECA における環境濃度寄与に関する提案内容	47
4.4 我が国における調査事例.....	48
第5章 大気汚染物質による健康・生態系影響調査手法の調査.....	50
5.1 調査の背景・目的	50
5.2 調査の手順	50
5.3 調査の結果	54
第6章 船舶・航空機排出大気汚染物質削減国際動向調査	63
6.1 船舶の排出基準等 (マルポール条約附属書 VI)	63
6.1.1 エンジンの排出ガス基準 (NO _x 規制)	64
6.1.2 燃料基準 (SO _x 及び PM 規制)	65
6.1.3 既設の放出規制海域 (ECA)	65
6.2 航空機の排出基準 (国際民間航空条約附属書 16)	66

6.2.1 エンジンの排出ガス基準	66
6.2.2 技術動向	67
6.2.3 国内制度	68
6.3 船舶及び航空機からの排ガス規制等に関する IMO 及び ICAO の最近の動向.....	69
6.3.1 IMO の動向	69
6.3.2 ICAO の動向	70
6.4 海域を限定した船舶の放出規制海域.....	72
6.4.1 北米 ECA.....	72
6.4.2 マルポール条約以外の放出規制海域の事例	76
第7章 今後の課題.....	82
7.1 船舶関係	82
7.1.1 測定値からの影響把握	82
7.1.2 排出量の把握	82
7.1.3 シミュレーションによる排出ガス影響把握.....	82
7.1.4 健康・生態系影響等に関する調査	82
7.2 航空機関係	83
7.2.1 大気汚染常時監視測定局の測定データの分析対象飛行場の拡大	83
7.2.2 排出量の把握	83
参考資料	エラー! ブックマークが定義されていません。

第1章 調査の概要

1.1 調査の背景と目的

船舶及び航空機からの排出ガス対策については、船舶では IMO(国際海事機関)、航空機では ICAO(国際民間航空機関)において、それぞれ国際的な枠組みの中で規制強化の議論が進められているところである。

船舶からの大気汚染物質等の排出削減については、IMO において船舶からの大気汚染物質の排出について段階的に強化する改正がなされた。これを受け、我が国においても「海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律等の一部を改正する法律」を平成 22 年 5 月 19 日に公布した。

また、航空機からの大気汚染物質等の排出削減については、ICAO において「国際民間航空条約付属書 16」に、航空機エンジン排出ガスに関する基準が定められており、我が国においても「航空法」によりこれに準じた規制がなされている。

SPM や NO₂ の環境基準達成率が全国的に改善傾向にあるなか、船舶及び航空機の排出ガス対策は自動車に比べ遅れており、既存の知見も少ないのが現状である。また、大都市地域において環境基準を達成していない地域が残されており、NO_x・PM 等の排出源として相当の割合を占めていると考えられる船舶からの排出ガスの対策の推進が必要である。

そこで、本調査では、大気汚染常時監視測定局の測定結果を分析するとともに、排出量の推計手法等を整理し、港湾及び飛行場周辺の大気汚染状況等を把握することを目的に調査を行った。また、今後、船舶・航空機排出ガスの各種影響を把握するための基礎調査として排出量把握手法、環境濃度寄与率、環境・生態系への影響、国際動向についても調査を行った。

1.2 今年度の調査の範囲

今年度は、港湾・空港周辺の大気環境の把握に係る事項を「調査・検討事項」、その他の事項を「調査事項」と位置づけ、各事項についてデータ整理や文献調査を行うとともに、これらの調査結果について、「調査・検討」事項を中心に後述の「船舶・航空機排出大気汚染物質削減技術・効果検討会」にて議論を行うこととした。

1.3 調査の内容

1.3.1 船舶・航空機排出大気汚染物質の排出量推計調査

① 港湾部・飛行場周辺における大気汚染状況調査

大気汚染常時監視測定局（一般局、自排局）の測定データを用い、港湾部・飛行場周辺における大気汚染状況の把握を行った。

分析対象港湾・飛行場のなかから、特に活動量が大きい、周辺の大気汚染状況が芳しくない等の理由により、いくつかの港湾・飛行場を選定し、それらの周辺の大気汚染物質の常時監視測定局データを使用して、全国の平均値との比較や、港湾・飛行場周辺における距離別の大気汚染状況について分析を行った。分析の対象とする物質については、船舶、航空機排ガス、燃料等について規制のある物質と関連した物質で環境基準、指針値がある物質を選定した。

② 船舶・航空機排出大気汚染物質の排出量推計手法調査

船舶・航空機に係る排ガス排出量の推計を実施した調査もしくは排出量の把握手法を紹介した調査について文献調査を行い、国内外における排出量の推計手法を整理した。各排出量の推計手法について排出量が把握可能な地理的範囲、推計の際の区分方法(船舶・航空機種類や総トン数、推力ごとに推計しているかなど)、また、将来予測や経年変化の推計の有無について整理した。

上記で概要を整理したうち、船舶、航空機それぞれ 2 つの手法についてデータの入手の難易度を判定した。

1.3.2 船舶・航空機排出大気汚染物質による影響調査

① 環境濃度寄与率把握手法の調査

排出量から環境中濃度を把握する手法及び調査の事例、環境中濃度からの発生源を特定する手法及び調査の事例に分けて、国内の調査結果を収集した。

② 大気汚染物質による健康・生態系影響調査手法の調査

北米における放出規制海域(ECA)指定の提案文書を参考に影響を把握すべき物質を抽出し、当該物質に関する我が国における過去の調査事例(大気環境基準設定の際の資料、国立環境研究所等における調査事例)の有無またその内容について整理した。

1.3.3 船舶・航空機排出大気汚染物質削減国際動向調査

船舶、航空機の国際機関である IMO、ICAO における排ガス規制値(燃料規制を含む)について現状を調査し、また排出ガス対策に関連した国際動向を整理した。

1.3.4 検討会の設置・運営

上記に示す内容を検討するために船舶・航空機排出大気汚染物質削減技術・効果検討会を表 1.1 のとおり開催した。検討会の委員名簿は、本報告書の冒頭に示した通りである。

表 1.1 検討会の開催状況

開催回	開催日	主な検討内容
第 1 回	平成 22 年 11 月 16 日	<ul style="list-style-type: none">● 検討会設置の背景と検討の進め方● 港湾・飛行場周辺における大気汚染状況に関する測定データの整理方法及び分析方針● 排出量の推計手法の比較・評価の方針
第 2 回	平成 23 年 1 月 14 日	<ul style="list-style-type: none">● 調査・検討方針の再設定● 大気汚染常時監視局の測定データの解析の方針と試行結果● 排出量推計手法、環境濃度寄与度把握の方法、健康・生態系影響評価、国際動向の整理結果
第 3 回	平成 23 年 3 月 4 日	<ul style="list-style-type: none">● 大気汚染常時監視局の測定データの分析結果● 排出量推計手法、環境濃度寄与度把握の方法、健康・生態系影響評価、国際動向の整理結果● 今後の課題

第2章 港湾部・飛行場周辺における大気汚染状況調査

2.1 大気汚染常時監視測定局の測定データの分析方法

2.1.1 解析に利用した常時監視測定局の測定データ

常時監視測定結果については、本検討会における測定データの整理及び分析に供するために、「国立環境研究所環境データベース大気環境時間値データファイル」¹を入手し、月間値や時間値を整理した。また年間値は国立環境研究所ホームページよりダウンロードした。なお、年間値については、1984年度～2008年度までについて4年おき、月間値、時間値については入手できる最新年度のデータである2008年度分のデータを分析に使用した。また空港については、施設設置事業者が独自で測定しているデータも収集し、上記データと合わせて利用した。

2.1.2 分析対象とした物質

分析対象とした物質は、船舶又は航空機排出ガスについて周辺環境への影響が懸念され、規制がある物質(直接的な規制でない場合も含む)の主な構成成分であり、環境基準が設定されている表2.1に示す物質とした。

表 2.1 施設種類ごとの分析対象物質

施設種類	分析対象物質	(参考)規制物質
港湾	NO ₂ 、SO ₂ 、SPM	NO _x 、燃料油中の硫黄含有率(PM、SO _x 削減を目的に設定)
飛行場	NO ₂ 、SPM、CO、NMHC	煤煙、HC、CO、NO _x 、(PM) ^{注)}

注:PMについてはICAOにおいて規制対象としての追加を検討中である。

2.1.3 測定データの整理対象とした港湾及び飛行場

常時監視局の測定データを整理する対象の港湾及び飛行場を選定する際の考え方を整理した。本年度は、港湾及び飛行場周辺の大気環境濃度の現状を把握することを目的としているため、周辺に常時監視局が設置されている港湾及び飛行場を対象として選定した。周辺に常時監視測定局が設置されていない港湾、飛行場については現状を把握することができないため、ここでは対象外とした。

周辺に常時監視測定局が設置されていた港湾、飛行場は、周辺濃度が高濃度となっているものを選定し、それらの入港船舶総トン数、着陸回数などの活動量と大気汚染物質の排出量と相関があると考えられる数値を比較し、大きいものを選定した。一方、施設周辺の環境濃度は高くはないが、港湾や飛行場と周辺施設の位置関係により、風向別の解析によって、港湾や飛行場の影響が明らかになると考えられる施設についても選定した。上記の選定基準により選定された施設を表2.2、表2.3に示す。

¹ 一部自治体のデータについては、「国立環境研究所と地方環境研究所とのC型共同研究平成19年度～21年度」において国立環境研究所が収集したデータ(各自治体には使用許可申請済み)や直接提供を受けたものも含まれる。本調査では、調査開始時に分析対象候補としていた港湾、飛行場が所在している26都道府県に設置された常時監視局のデータである(26都道府県は参考資料1参照)。

表 2.2 選定基準ごとの該当施設

選定基準	該当施設	
	港湾	飛行場
周辺が高濃度である	東京湾、伊勢湾、大阪湾に所在する港湾	
活動量が大きい	航行隻数・貨物取扱量が大きい	横浜港
	停泊時の排出量が大きい	千葉港、水島港
	通過する船舶が多い	関門海峡周辺(北九州北部に所在する港湾)
常時監視局と施設との位置関係によって影響の把握が容易	尾鷲港	石垣空港

注: 関西空港については、中部空港と同じ海上空港であり、周辺測定局が工業地帯に隣接しているため本解析からは除外した。

表 2.3 対象とする施設

施設区分	対象とする施設
港湾	東京湾(1 千葉港、2 木更津港、3 東京港、4 川崎港、5 横浜港、6 横須賀港) 伊勢湾(7 名古屋港、8 衣浦港、9 三河港、10 四日市港、11 津松阪港) 大阪湾(12 大阪港、13 堺泉北港、14 阪南港、15 神戸港、16 尼崎西宮芦屋港) 北九州(17 下関港、18 北九州港、19 博多港) その他(21 水島港、29 尾鷲港) 計 21 港湾
飛行場	1羽田空港、2 成田空港、4 伊丹空港、7 中部空港、21 石垣空港 計 5 空港

注: 各施設の前の番号は、分析のために便宜的に設定した施設コードである。

2.1.4 分析対象とした常時監視局の範囲

施設種類ごとに分析対象とした常時監視局の考え方を表 2.4 に示す。なお、これらとの比較のために、常時監視局の全国平均値等を使用する。具体的には、年間値で比較対象とした全国平均値は 47 都道府県に設置された常時監視局の平均値を使用する。また、月間値及び時間値で比較対象とした全国平均値は参考資料1に示す 26 都道府県に設置された常時監視局の平均値を使用する。

表 2.4 施設種類ごとの分析対象とする常時監視局

施設種類	分析対象とする常時監視局	考え方
港湾	港湾区域の外周から 1km 範囲内及び 1～3km 範囲内の常時監視局、比較のために 3～10km	船舶の煙突位置は比較的低いため、一次生成物質に限定するとその影響は”ごく近傍”に限定されることから、風向風速の影響がある場合も考慮して 1km と 1～3km と設定。
飛行場	設置管理者測定局(羽田、尾鷲以外)、飛行場敷地外周から 5km 内、5～10km 範囲内の常時監視局	ICAO において地上大気環境へ影響のある高さとしてあげられている 3000feet まで上昇するまでに移動する水平方向の距離を考慮して 5km と 5～10km と設定(成田国際空港では 6000feet 上昇するのに平均 13km 程度移動するとの情報から安全側で設定)。

2.1.5 風向別データの分析対象とした港湾及び飛行場の選定方法

① 分析対象とした測定局

施設方向からの風向時の濃度とその他の濃度の違いの有無を把握するために、港湾は各港湾区域と海岸線の外周から 3km 以内に含まれる測定局(年間値等の分析時の 3km 以内の測定局と同じ)、飛行場は成田空港、中部空港で事業者が独自で設置している局、離発着の方角²を考慮して数点の測定局を選定した。飛行場周辺で選定した局のみ以下に具体名称を示す。

表 2.5 風向別データ解析のために選定した飛行場周辺の測定局

飛行場コード	飛行場名	局番	測定局名称
1	羽田	13109030	品川区八潮
1	羽田	13111010	大田区東糀谷
1	羽田	14131020	川崎区役所大師分室
2	成田	21	成田_B 滑走路北局
2	成田	22	成田_A 滑走路北局
2	成田	23	成田_西部局
2	成田	24	成田_A 滑走路南局
2	成田	25	成田_B 滑走路南局
2	成田	26	成田_東部局
2	成田	12211020	成田大清水
2	成田	12409010	芝山山田
7	中部	71	中部_美浜町定期調査地点
7	中部	72	中部_刈屋局

注 1:局番で二桁のコードは便宜上本調査で指定した番号である。

² 成田空港における北風時及び南風時の標準飛行コース

<http://www.pref.chiba.lg.jp/kuushin/narita/documents/hikouruuto1.pdf>

② 測定局と施設との位置関係の整理方法

各測定局において「施設方向」を設定するために、測定局から施設（飛行場・港湾）がどの方向に位置するかを目視で判断し、その左端と右端を 16 方位で示し、左端と右端に挟まれる方向を「施設方向」とした。以下に例を示す。

施設内に設置されている測定局については、港湾では船舶が停泊又は航行、飛行場では航空機が主に離着陸すると考えられる方向を設定した。

例1)

測定局: 西区平沼小学校

最寄り施設: 横浜港

測定局から見て、最寄り施設区域の左端、及び右端と接する点(約 3km 以内)の方位を取得。西区平沼小学校の場合、左端(線①と港湾域の接点)を「北東」、右端(線②と港湾域の接点)を「東南東」と設定。線③の場合は測定局と接点間の距離が 3km 超(5.5km)のため、右端と設定しない。

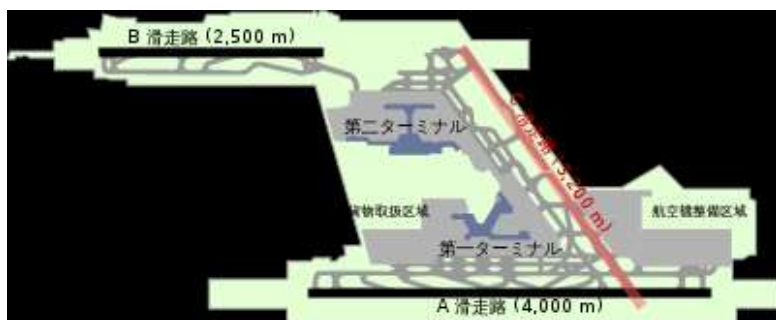


例2)

測定局:成田 B 滑走路南局

最寄り施設:成田空港

滑走路の位置、風向きによる飛行ルート等を考慮して、左端を南南東、右端を北北西と設定。



出典(下図): 成田空港施設配置図(ウィキペディア:

<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E6%88%90%E7%94%B0%E5%9B%BD%E9%9A%9B%E7%A9%BA%E6%B8%AF>)

③ 風向別・測定局別データ分析測定局の選定方法

上記①で選定した測定局のなかから、さらに測定局ごとに時間帯別・風向別分析を行う測定局を選定した。これらの測定局は施設と測定局の間に道路、工場などの顕著な発生源が少なく、時間帯別・風向別の分析によって船舶・航空機の排ガスの影響の有無、強度などを把握できる可能性があると考えられる測定局を選定した結果を表 2.6 に示した。

表 2.6 風向別詳細分析対象測定局

港湾/ 飛行場	施設コード	施設名称	国環研 局番	測定局名称
港湾	1	千葉	12204140	船橋若松
	3	東京	13102010	中央区晴海
	5	横浜	14104010	神奈川県庁
	5	横浜	14201020	追浜行政センター
	6	横須賀	14201010	横須賀市役所
	6	横須賀	14201050	久里浜行政センター
	6	横須賀	14201520	小川町
	8	衣浦	23205020	衣浦排水機場
	10	四日市	24202010	磯津
	15	神戸	28101030	六甲アイランド
	15	神戸	28110010	港島
	18	北九州	40101020	松ヶ江観測局
	18	北九州	40103010	若松観測局
	21	水島	33202300	港湾局
	21	水島	37203130	櫃石島
飛行場	2	成田	12211020	成田大清水
	2	成田	12409010	芝山山田
	2	成田	21	成田_B 滑走路北局
	2	成田	22	成田_A 滑走路北局
	2	成田	23	成田_西部局
	2	成田	24	成田_A 滑走路南局
	2	成田	25	成田_B 滑走路南局
	2	成田	26	成田_東部局
	7	中部	71	中部_美浜町定期調査地点
7	中部	72	中部_刈屋局	

注 1:伊丹空港は測定日時別・風向別データが得られなかったため、分析対象から除外している。

注 2:局番で二桁のコードは便宜上本調査で指定した番号である。

2.1.6 各データの分析方法

各データの分析方法については表 2.7 のとおりである。データは年間値、月間値、時間値を用いて、全国平均(月間値及び時間値では 26 都道府県の平均)との比較、施設からの距離、風向別の比較などを行った(なお、全国平均における年間値については 26 都道府県ではなく、47 都道府県の平均である。)。各分析結果は番号で整理しており、全国平均(月間値及び時間値では 26 都道府県の平均)と対象施設周辺平均は「①」、距離別は「②」、風向別は「③」、また対象については、対象施設周辺平均は「a」、湾は「b」、施設は「c」、測定局は「d」、加えて測定期間について、年間値は「-1」、月間値は「-2」、時間値は「-3」としている。例えば、距離別(②)の対象施設周辺平均(a)における時間値(-3)の整理結果ならば、②a-3 としている。また分析にあたり、施設の地理的レベルを設定している。例として港湾の分析では、個別の測定局ごと、個別の港湾ごと、港湾をグループ化した湾ごと、及び本調査で対象とする全ての港湾をまとめた対象全港湾としている。

なお、③d-3 測定局ごとの風向別時間値データについては、風向ごとの時間値データが 2 以下の風向については、平均的な数値でない可能性があるため、データを削除した。また、衣浦港及び三河港、両港を含む伊勢湾、尾鷲港については 2008 年度における年間値と時間値、月間値の測定局数が相違していることから平均値間の相関はない。

表 2.7 各データの分析方法

分析項目		分析方法
①全国平均と対象施設周辺平均		全国(月間値及び時間値では 26 都道府県の平均)の単純平均と施設周辺*の比較 ※施設周辺は以下のとおり。 港湾: 港湾区域から 3km 範囲内の測定局 飛行場: 飛行場から 5km 範囲内の測定局
②距離別	A 対象全施設周辺平均 b 湾ごと c 施設ごと	施設からの距離*による濃度の違いの比較 ※距離は以下のとおり。 港湾: 1km 未満、1~3km、3~10km 飛行場: 1km 未満の事業者設置局、左記以外 5km 以内、5~10km
③風向別	A 対象全施設周辺平均 b 湾ごと	施設周辺*における施設方面とそれ以外の風向時の比較 ※施設周辺は以下のとおり。 港湾: 港湾区域から 3km 範囲内の測定局 飛行場: 表 2.5 に示した測定局
	d 測定局ごと	特定の測定局*における時間帯別風向別濃度の比較 ※特定の測定局とは表 2.6 に示したとおり。

2.2 大気汚染常時監視測定局の測定データの分析結果

2.2.1 港湾周辺の分析結果

① 全国平均と対象全港湾周辺平均の比較(①-1～3)

全国平均(月間値及び時間値では 26 都道府県の平均)と対象全港湾周辺平均の濃度の変化を比較するために、1984 年度～2008 年度における 4 年おきの年間値の推移を図 2.1 に、2008 年度における月間値の推移を図 2.2 に、2008 年度における時間値の推移を図 2.3 に示す。なお、道路沿道に所在する測定局(自動車排ガス測定局、自排局)も含めた数値と、その他の局(一般局)のみの数値は分けて示した。

また、年間値の推移については、一般局のみの濃度変化について、全国平均と対象全港湾周辺平均の 1984 年度の濃度に対する変動状況を比較するために、各年度の濃度の対 1984 年度比も合わせて示した。また、月間値、時間値については、各月、もしくは時間帯の平均値に対する変動状況を比較するために、対年間値を合わせて示した。

1984年度～2008年度における4年おきの年間値の推移(図 2.1)では、以下の傾向がみられた。

- NO₂、SO₂、SPMともに港湾周辺は濃度が高かった。
- NO₂は1996年度ごろをピークに増加から減少に転じていた。
- SO₂、SPMは1984年度から減少傾向にあるが、1992～1996年度ごろにいったん減少割合が小さくなり、再び減少に転じていた。
- 1984年度からの濃度の減少割合は、対象全港湾周辺平均と、全国平均との差はみられなかった。

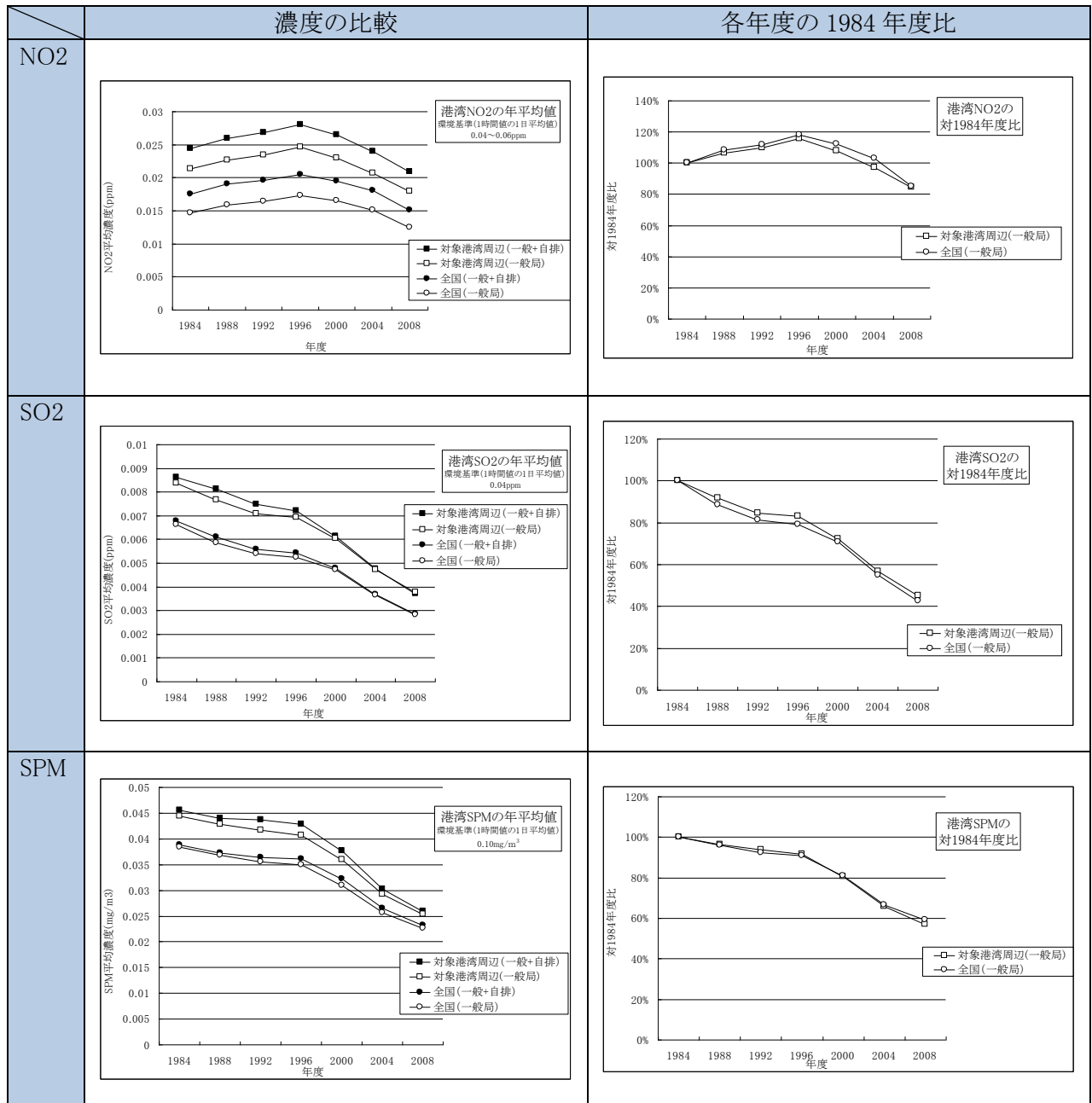


図 2.1 全国平均と対象全港湾周辺平均における年間値の比較(①-1)

2008年度における月間値の推移について(図 2.2)では以下の傾向がみられた。

- NO₂,SO₂,SPMともに港湾周辺は濃度が高かった。
- NO₂では夏場濃度が低く、SO₂、SPMでは7月にピークがあった。
- 年間値に対する各月の増減は、対象全港湾周辺平均と、全国(ここでは26都道府県)平均で顕著な差はみられなかった。

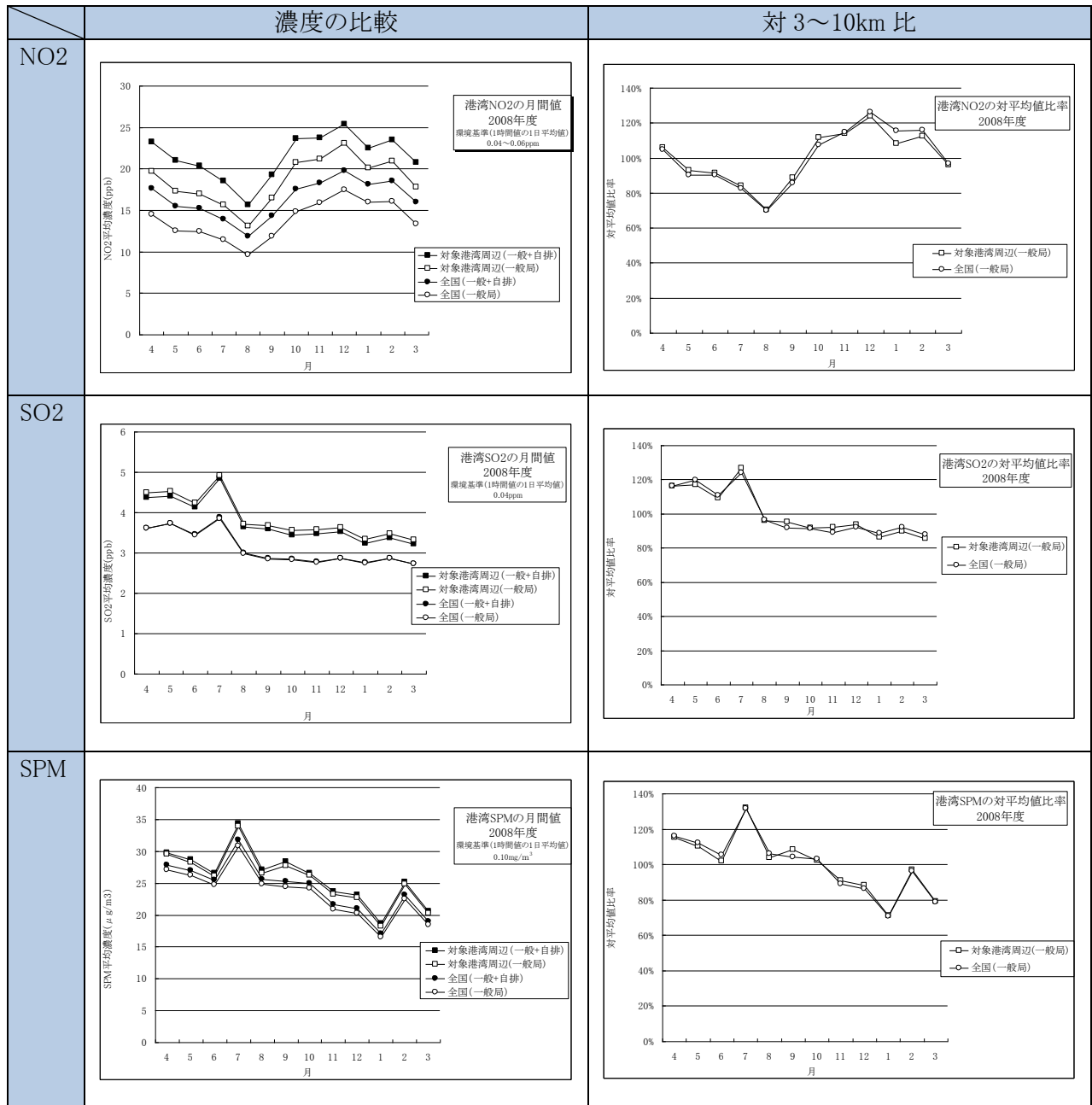


図 2.2 全国(ここでは26都道府県)平均と対象全港湾周辺平均における月間値の比較(①-2)

2008 年度における時間値の推移(図 2.3)では以下の傾向がみられた。

- NO₂、SO₂、SPM とともに港湾周辺は濃度が高かった。
- NO₂、SPM では、時間値の平均値に対する増減は港湾周辺のほうが緩やかだった。
- SO₂ は時間値の平均値に対する増減は、全国(ここでは 26 都道府県)平均と、対象全港湾周辺平均に違いがみられなかった。
- SPM の時間変化は経年変化と相違し、NO₂ と類似していた。

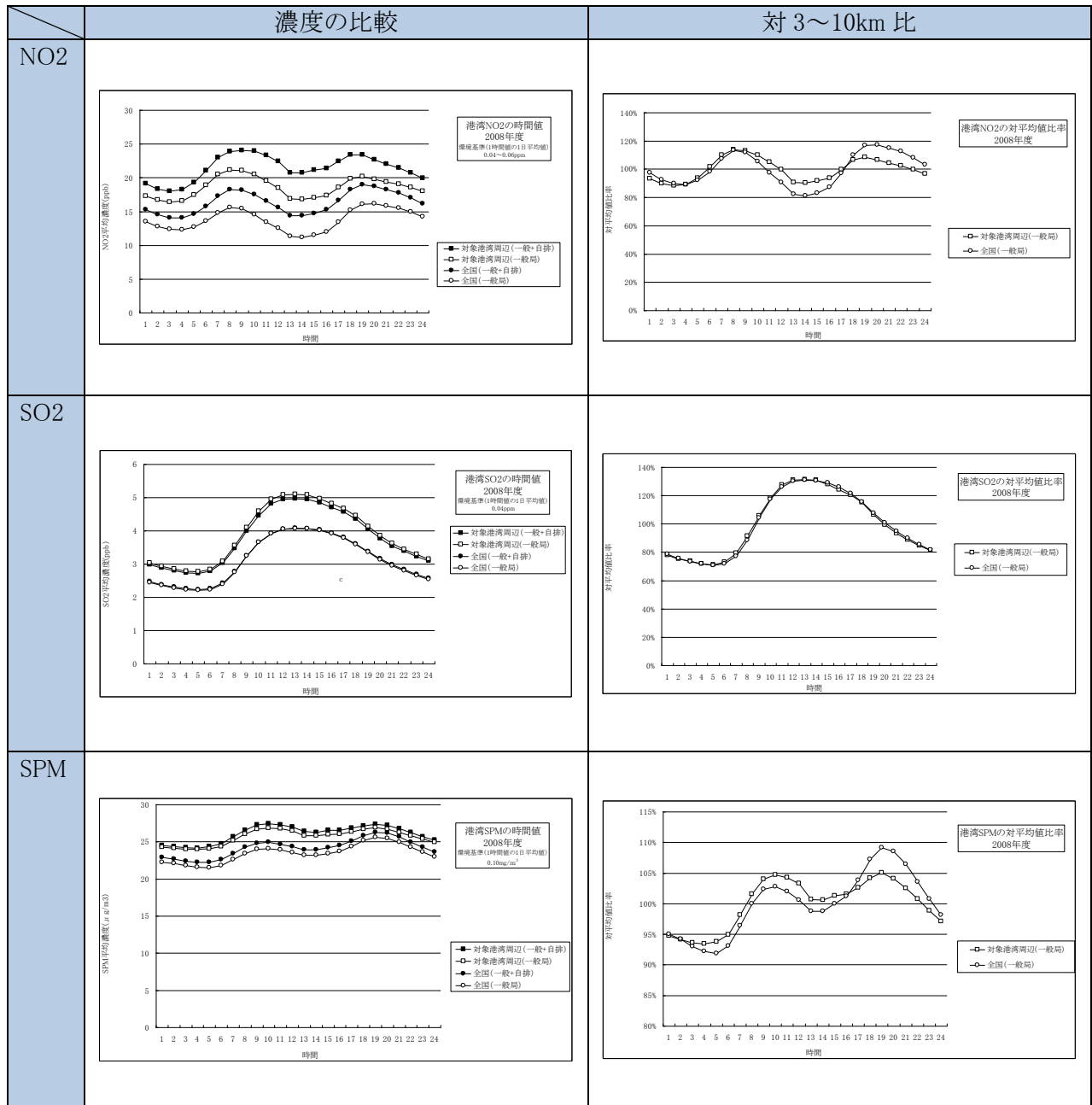


図 2.3 全国(ここでは 26 都道府県)平均と対象全港湾周辺平均における時間値の比較(①-3)

② 対象全港湾周辺平均の距離別濃度の比較(②a-1～3)

対象全港湾周辺の距離別の濃度の変化を比較するために、1984年度～2008年度における4年おきの年間値の比較を図2.4に、2008年度における月間値の比較を図2.5に、2008年度における時間値の比較を図2.6に示す。なお、自排局を含めたデータと一般局のみのデータを比較したところ、大きな違いがなかったため、一般局のみのデータを示した。

また、距離別の傾向を明らかにするために、1km未満、1～3kmの測定局平均濃度の3～10kmの測定局平均濃度との比率を合わせて示した。

1984年度～2008年度における4年おきの年間値(図2.4)では、以下の傾向がみられた。

- NO₂、SO₂では、港湾に近いほど濃度が高い傾向があり、SO₂のほうが顕著だったが、近年は距離帯による濃度差が小さくなっている。逆にNO₂では近年差が大きくなってきている。
- SPMはいずれの年度でも港湾からの距離による顕著な違いはみられなかった。

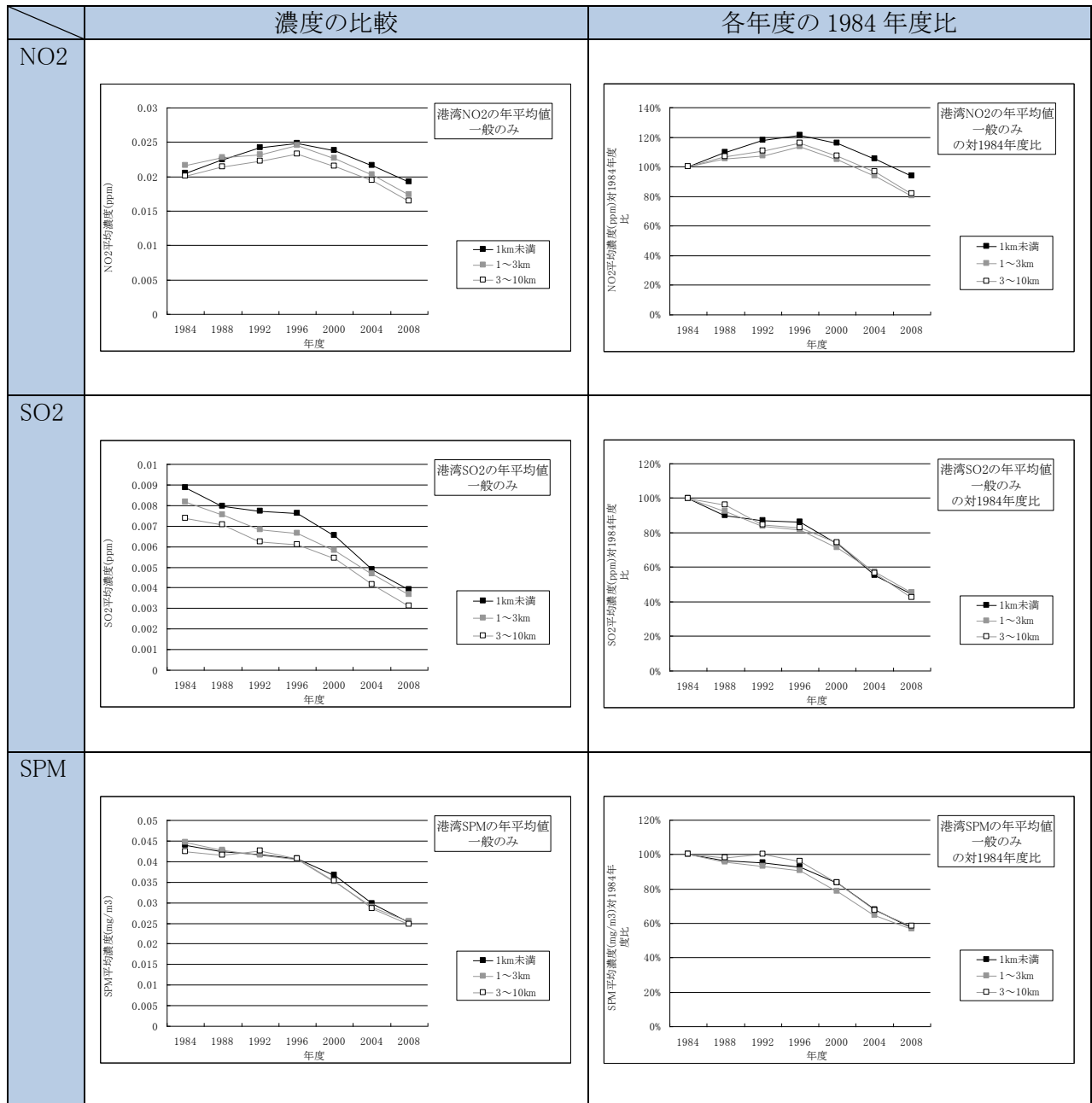


図2.4 対象全港湾周辺平均の距離別年間値の比較(②a-1)

2008年度における月間値(図 2.5)では以下の傾向がみられた。

- NO₂、SO₂ では、港湾に近いほど濃度が高かった。
- SPM では港湾からの距離による顕著な違いはみられなかった。
- NO₂ の月による3～10km に対する各距離帯の月別濃度比率は4～5月ごろをピークにだらかに増減していた。

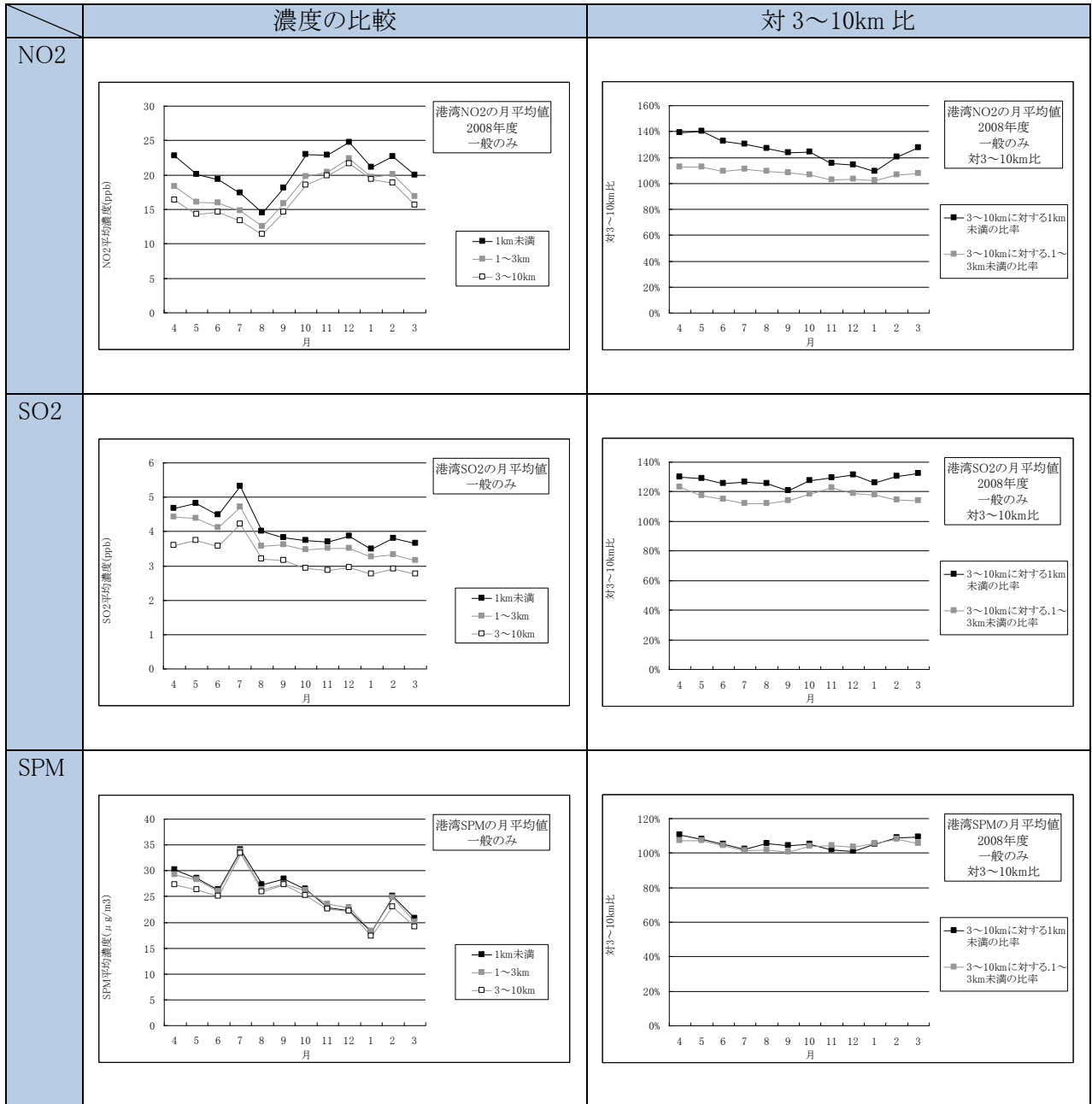


図 2.5 対象全港湾周辺平均の距離別月間値の比較(②a-2)

2008 年度における時間値(図 2.6)では以下の傾向がみられた。

- NO₂、SO₂ では、港湾に近いほど濃度が高かった。
- SPM は港湾からの距離による顕著な違いはみられなかった。
- NO₂ ではいずれの時間帯も1km 範囲内は、1～3km よりも濃度が高かったが、SO₂ では、昼間の時間帯にいったん両者の差がほぼなくなっていた。

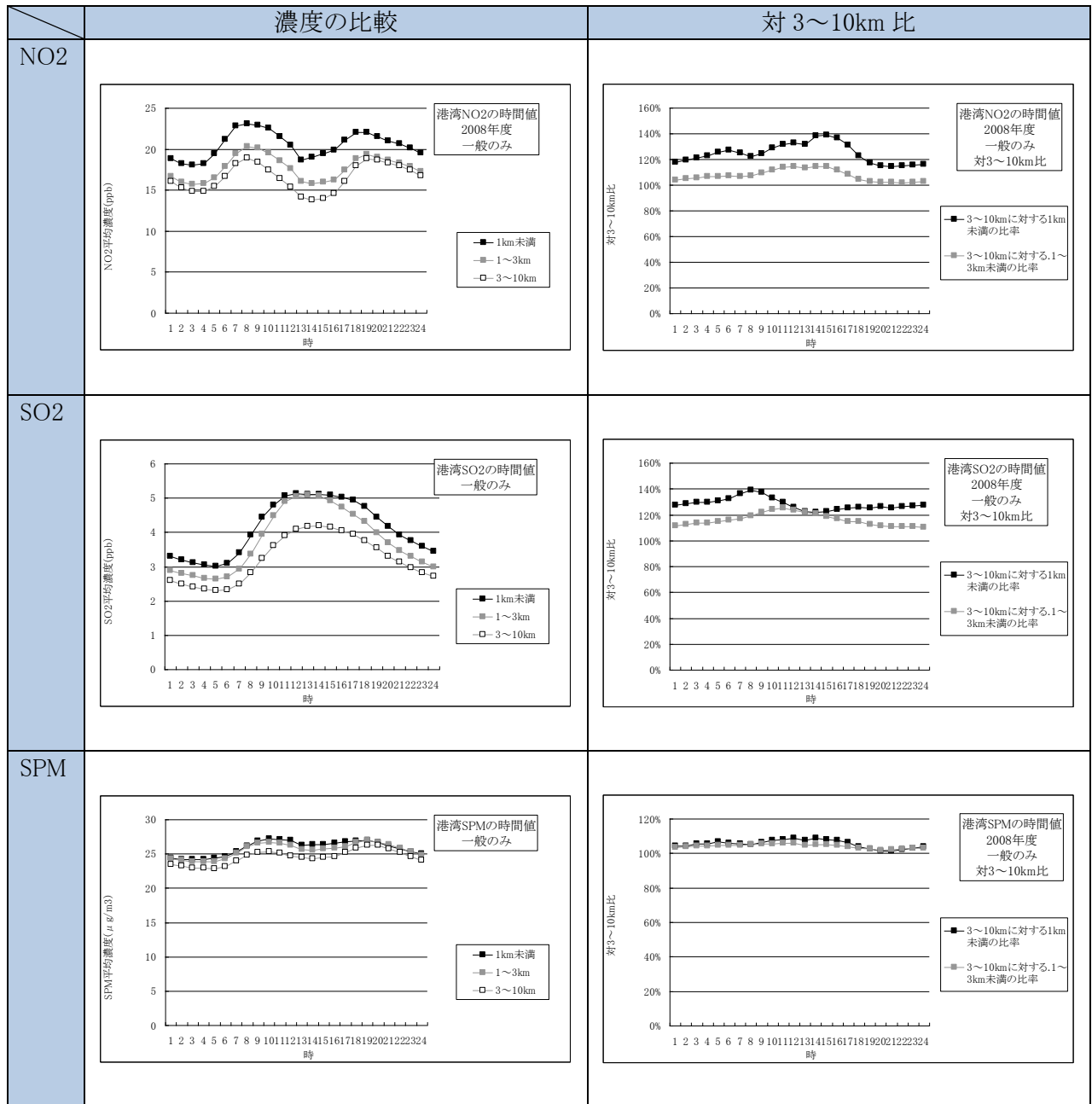


図 2.6 対象全港湾周辺平均の距離別時間値の比較(②a-3)

③ 湾別の距離別濃度の比較(②b-1~3)

湾別の距離別濃度(②b-1~3)のグラフについては参考資料 3 に示した。いずれの物質、距離帯、湾でも、年別/月別/時間帯別の変化パターンは全国平均(月間値及び時間値では 26 都道府県の平均)と類似していた。また、SPM はいずれの湾でも対象全港湾周辺平均と同様に港湾からの距離による顕著な違いはみられなかった。図 2.7 には特徴的な傾向及びその事例を示した。

④ 港湾別の距離別濃度の比較(②c-1~3)

港湾別の距離別濃度(②c-1~3)のグラフについては参考資料 3 に示した。港湾別の比較では、各物質ともおおよそ変化の傾向は全国と類似していた。また、港湾への距離がもっとも近い測定局で NO₂ 濃度が高い傾向があった。図 2.8 には特徴的な傾向及びその事例を示した。

⑤ 対象全港湾平均及び湾別の風向別時間平均濃度の比較(③a,b-3)

対象全港湾平均における港湾方面が風上となる方面の平均濃度とその他の方面の平均濃度を比較するために、2008 年度における時間値の推移を図 2.9 に示した。なお、上記の比較には、一般局のデータのみを使用した。

また、港湾方面を風上とする風向とその他の風向の時間帯別濃度を比較するために、上記と合わせて、港湾方面を風上とする風向のその他の風向に対する比率を示した。

湾別の風向別時間平均濃度(③b-3)のグラフについては参考資料 3 に示した。濃度に差はあるが変動の形状は風向によらず、いずれの湾でも対象全港湾周辺平均と同じだった。また、SO₂ のみいずれの湾でも、施設方面を風上とする風向の濃度が、その他の方面に比べて高かった。図 2.10 には特徴的な傾向及びその事例を示した。

湾別の距離別濃度(②b-1~3)(図 2.7)では以下の状況がみられた。

- 東京湾のみ近傍のNO₂濃度が常に高かった。
- 伊勢湾ではNO₂及びSO₂について港湾近傍以外で濃度が高かった。
- 大阪湾ではSO₂について3km以内のデータが2008年度に濃度が増加していた。

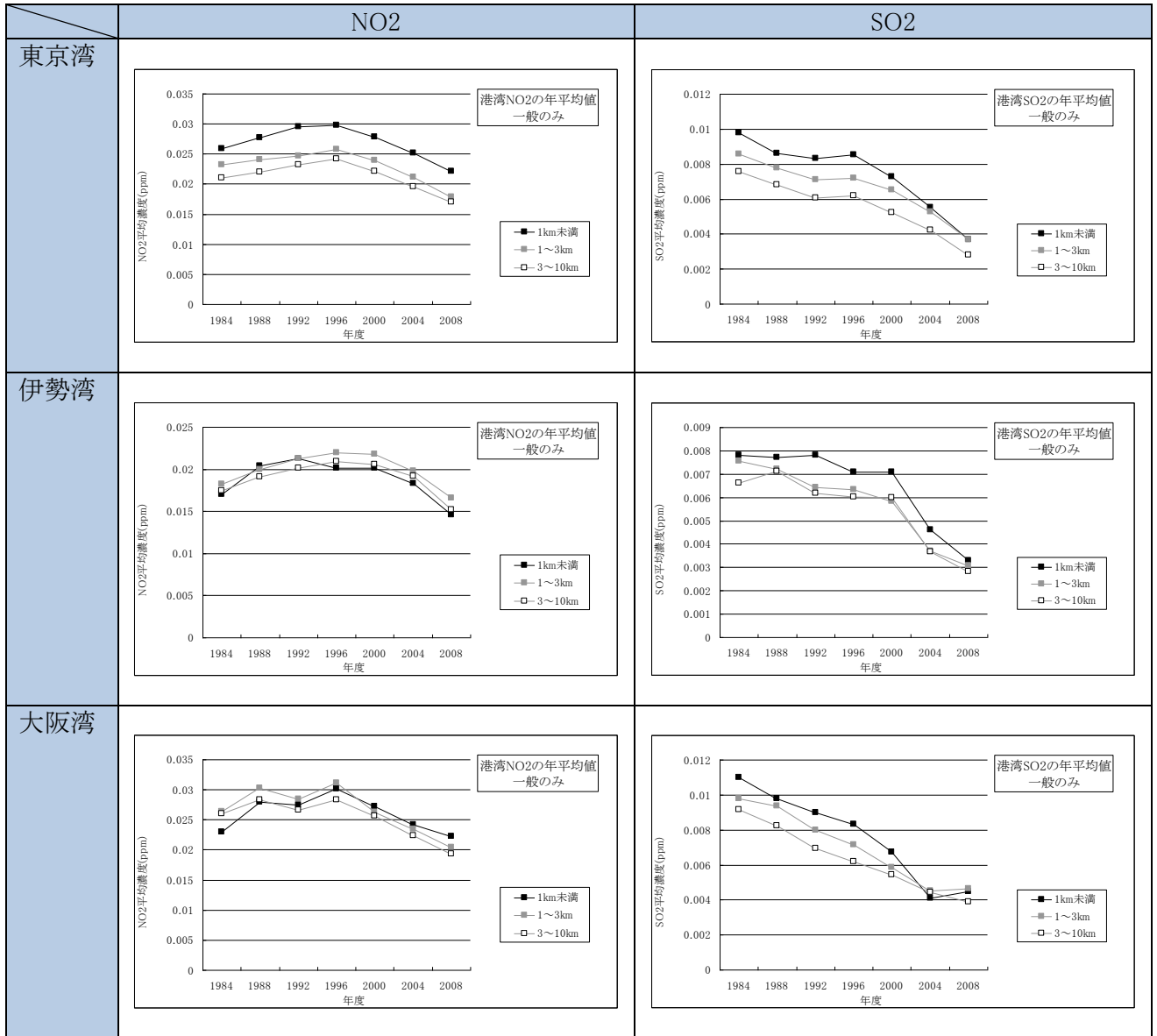


図 2.7 湾ごとの距離別年間値の例(②b-1)

港湾別の距離別濃度(②c-1~3)(図 2.8)では以下の状況がみられた。

- SO₂ では月平均におけるピーク月が相違するものや、東京港では近傍以外でも濃度が高くなっており、阪南港では港湾近傍でない所の濃度が高かった。

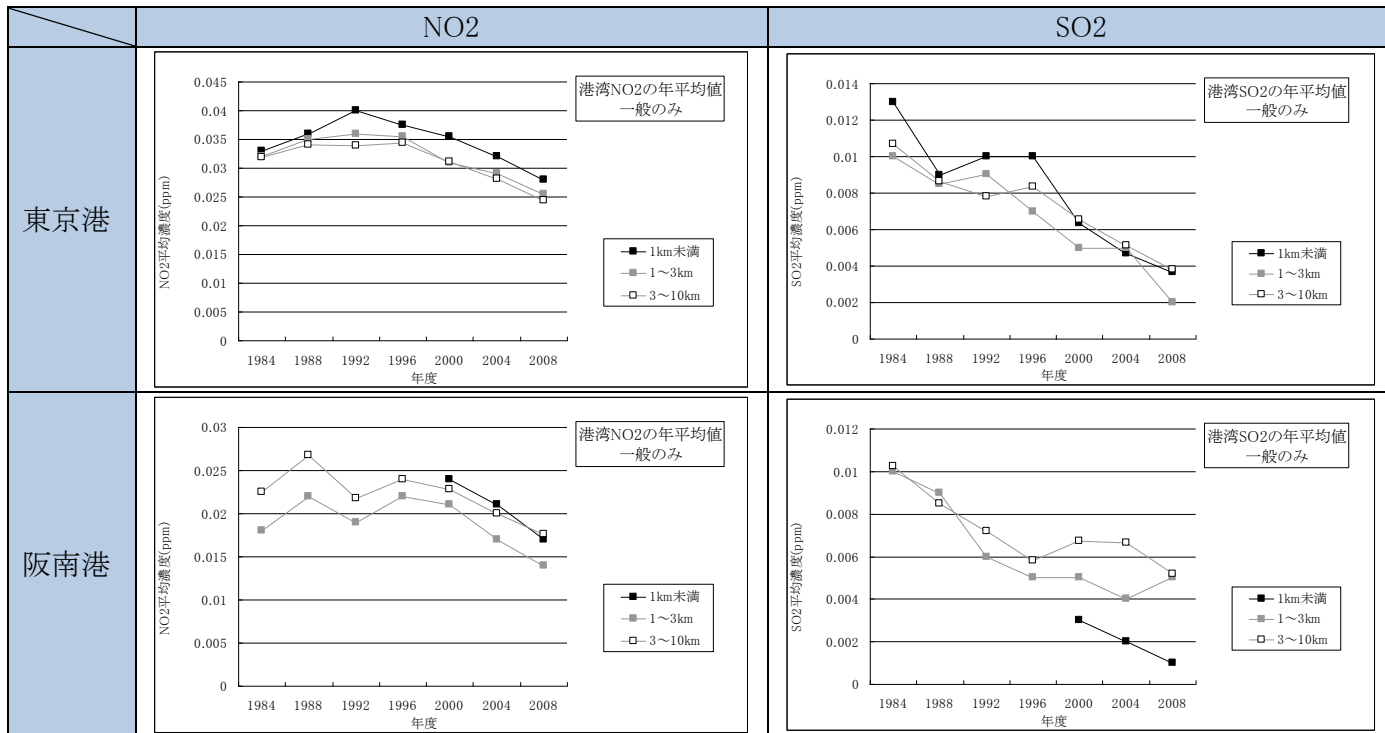


図 2.8 港ごとの距離別年間値の比較の例(②c-1)

対象全港湾平均の風向別時間値(図 2.9)では以下の傾向がみられた。

- いずれの物質でも港湾方面が風上になる風向の濃度が高い傾向(特に SO2 では常時高い)がみられた。
- その他の方面からの風向に対する施設方面の割合は、NO2 では昼間の時間帯に特に高くなり、その傾向は NO2、SPM、SO2 の順で大きかった。

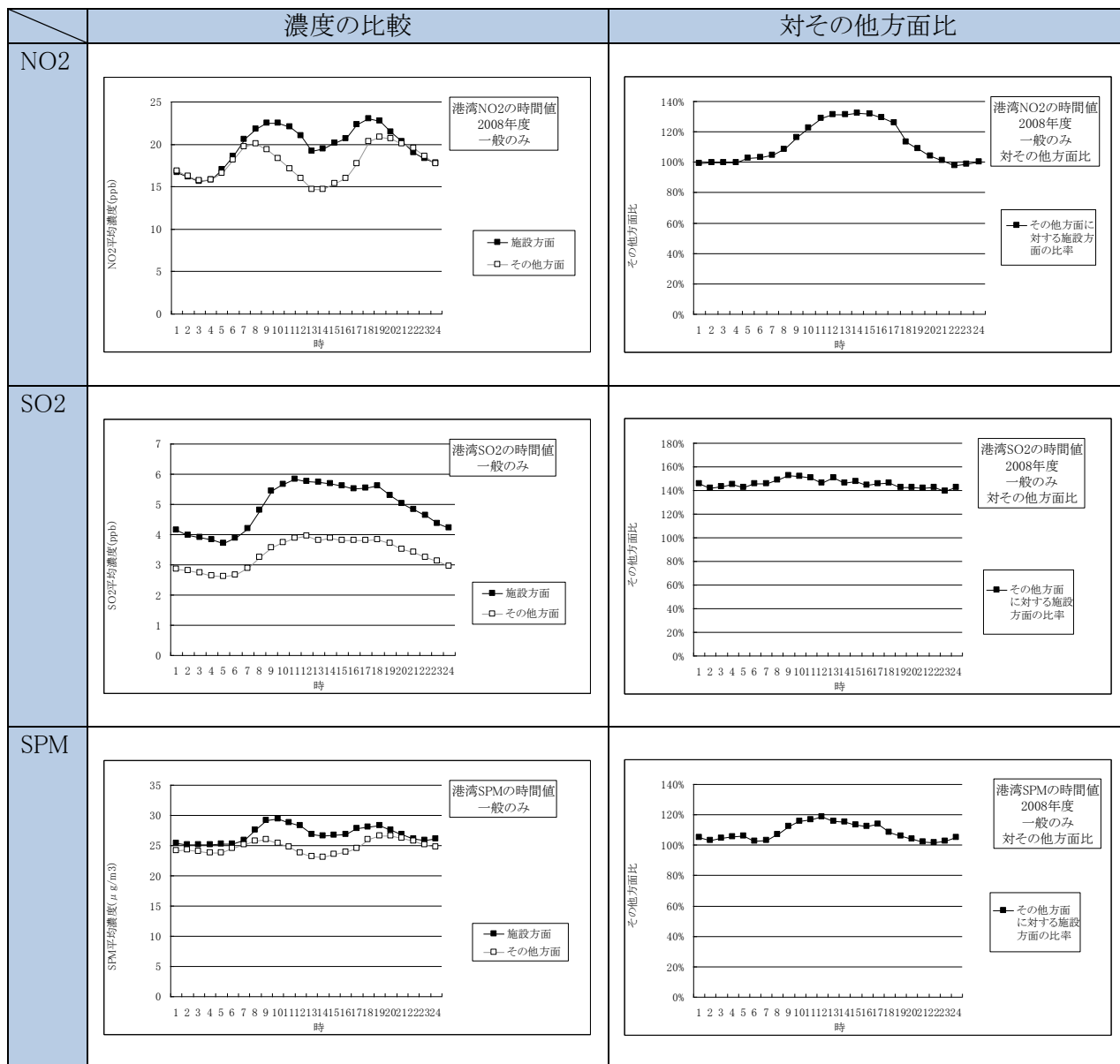


図 2.9 対象全港湾平均の風向別時間値の比較(③a-3)

湾別の風向別時間値(図 2.10)では以下の傾向がみられた。

- 濃度に差はあるが変動の形状は風向によらず、いずれの湾でも対象全港湾周辺平均と同じだった。
- SO₂ のみいずれの湾でも、港湾方面を風上とする風向の濃度が、その他の方面に比べて高かった。

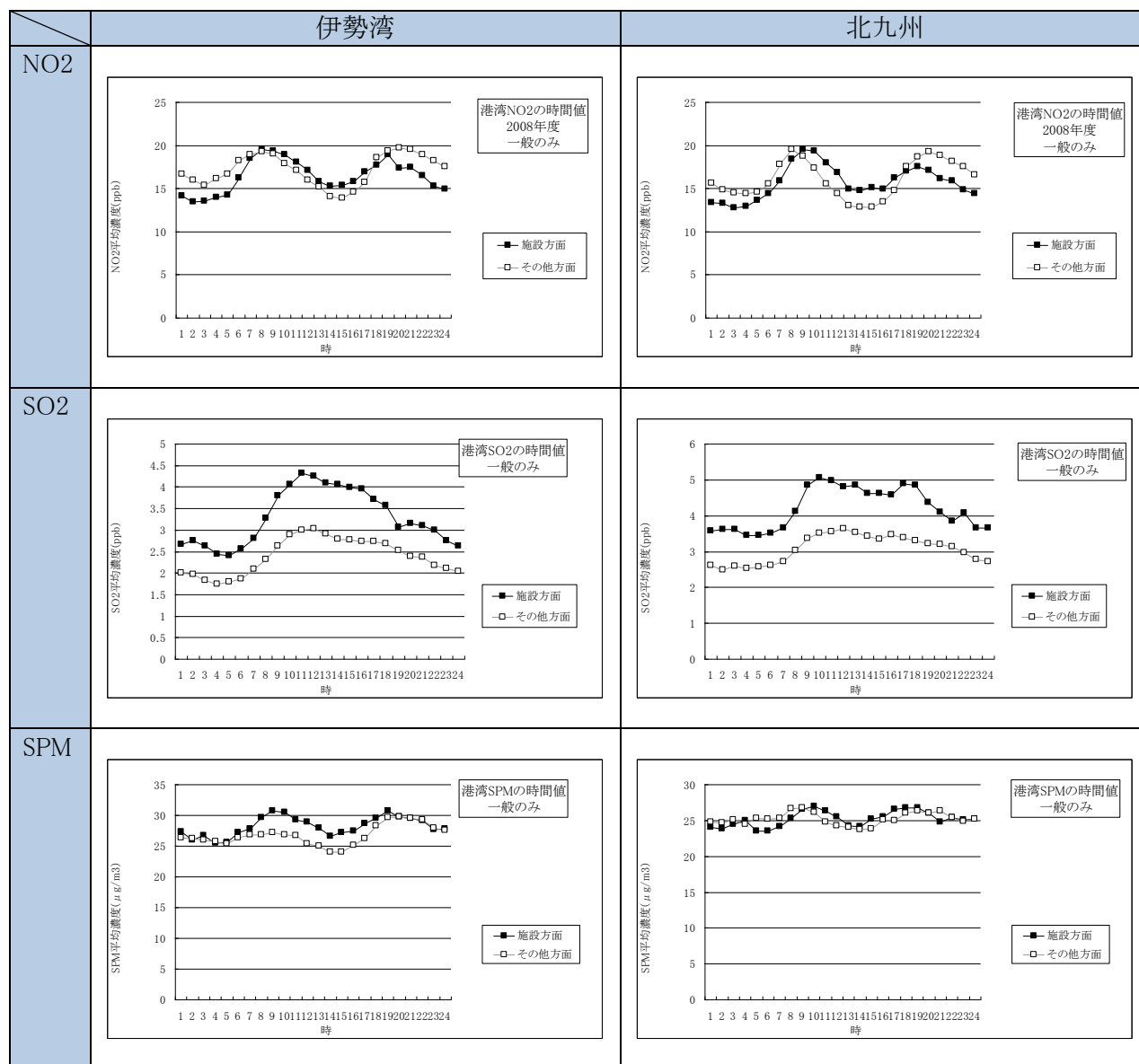


図 2.10 湾別の風向別時間値の比較の例(③b-3)

⑥ 測定局別の風向別時間平均濃度の比較(③d-3)

表 2.6 に示した測定局について、測定局別の風向別時間平均濃度を整理した結果を参考資料 3 に示した。測定局によっては、港湾方面を風上とする風向の濃度が高い傾向がみられた。特に SO₂ ではその傾向を示す測定局が多いことが示唆された。ただし、SPM では風向による濃度の違いが明確でないものが多かった。

以下に、風向による影響が比較的明確だった例と明確でなかった事例を示す。

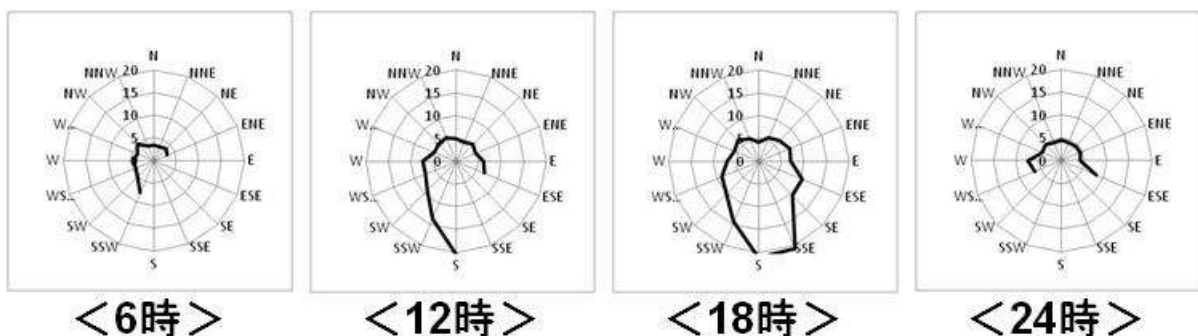
ア) 港湾局（水島港周辺に存在する測定局）の例

港湾局の位置及び周辺施設との位置関係を図 2.11 に示した。港湾局は水島港のすぐそばに立地しており、周辺に工業地帯が広がっているが、特に、昼間の時間帯の港湾方面からの風向における濃度が高い傾向がみられた(6時、12時、18時24時のSO₂の例を図 2.12 に示した)。



注:左図は ArcGIS 及び国土数値情報に基づいて作図、右図は Google map である。

図 2.11 港湾局と周辺施設の位置関係



注:同一の風向で年間のデータ数が2以下の場合には、データを除外しているため、グラフがとぎれている場合がある。

図 2.12 港湾局における SO₂ 濃度 (ppb) の風向別の時間平均値の例

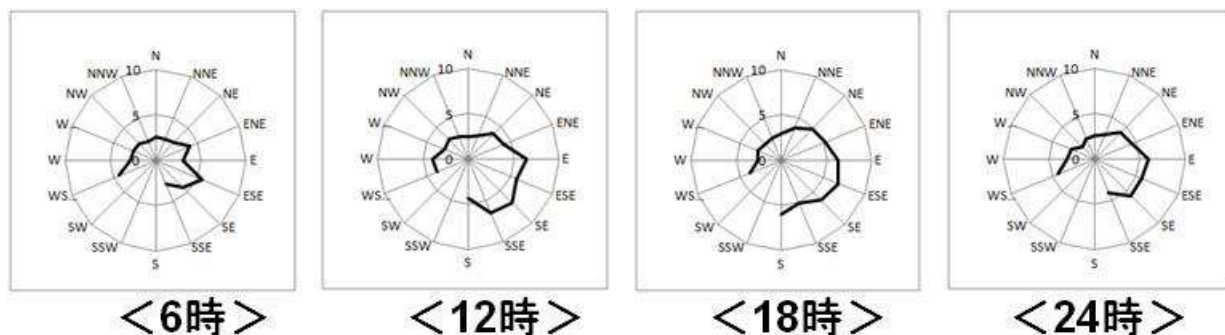
イ) 中央区晴海（東京港周辺に存在する測定局）の例

中央区晴海局の位置及び周辺施設との位置関係を図 2.13 に示した。中央区晴海局は東京港のなかに立地し、周辺に道路等があり、他の東京港周辺測定局と同様に風向による濃度の違いが明確ではなかった(6 時、12 時、18 時 24 時の SO₂ の例を図 2.14 に示した)。



注: 左図は ArcGIS 及び国土数値情報に基づいて作図、右図は Google map である。

図 2.13 中央区晴海局と周辺施設の位置関係



注: 同一の風向で年間のデータ数が 2 以下の場合には、データを除外しているため、グラフがとぎれている場合がある。

図 2.14 中央区晴海局における SO₂ 濃度(ppb)の風向別の時間平均値の例

⑦ 港湾周辺における分析結果の考察

上記①～⑥により、分析対象港湾周辺の大気汚染状況については、以下のとおりである。

- いずれの物質でも全国平均(月間値及び時間値では 26 都道府県の平均)と比較し、分析対象港湾周辺は濃度が高い傾向がみられた(ただし、全国も分析対象港湾周辺でも近年の経年変化では減少傾向であった)(①-1,2,3)
- 分析対象港湾の平均では、いずれの物質でも港湾への距離が近いほど濃度が高い傾向があったが、個別の湾や港湾ではその傾向に従わない場合も散見された(②a～c-1,2,3)
- 風向別の解析では、分析対象港湾周辺(3km 範囲内)の測定局の平均では、港湾を風上とする風向からの濃度が高い傾向がみられた(③a～c-3)
- 測定局別・風向別の解析では、測定局・物質によっては港湾を風上とする風向からの濃度が昼間の時間帯に高い傾向がみられた(③d-3)

以上より、分析対象港湾周辺の濃度が高い傾向がみられた。影響の大きさや割合、範囲については不明であるものの、港湾周辺の各種工場や船舶からもある程度の影響があることは推測される。

2.2.2 飛行場周辺の分析結果

① 全国平均と施設周辺濃度の変化(①-1～3)

全国平均(月間値及び時間値では 26 都道府県の平均)と対象飛行場周辺平均の濃度の変化を比較するために、1984 年度～2008 年度における 4 年おきの年間値の推移を図 2.15 に、2008 年度における月間値の推移を図 2.16 に、2008 年度における時間値の推移を図 2.17 に示す。なお、道路沿道に所在する測定局(自動車排ガス測定局、自排局)も含めた数値と、その他の局(一般局)のみの数値は分けて示した。

また、年間値の推移については、一般局のみの濃度変化について、全国平均と対象飛行場周辺平均の 1984 年度の濃度に対する変動状況を比較するために、各年度の濃度の対 1984 年度比も合わせて示した。また、月間値、時間値については、各月、もしくは時間帯の平均値に対する変動状況を比較するために、対年間値を合わせて示した。

1984 年度～2008 年度における 4 年おきの年間値の推移(図 2.15)では、以下の傾向がみられた。

- NO₂、SPM は、対象飛行場周辺は濃度がやや高く、CO、NMHC は、対象飛行場周辺は濃度がやや低かった。
- いずれの物質も濃度の減少割合は、近年では対象飛行場周辺と全国で差はあまり見られないが、1984 年度から 1996 年度頃にかけては増減の傾向(減少に転じる時期等)に違いがあった。

NO₂: 全国平均では1996年度頃、飛行場周辺では1988年頃をピークに増加から減少に転じていた。

SPM: 全国平均では1984年度、飛行場周辺では1996年頃から減少に転じていた。

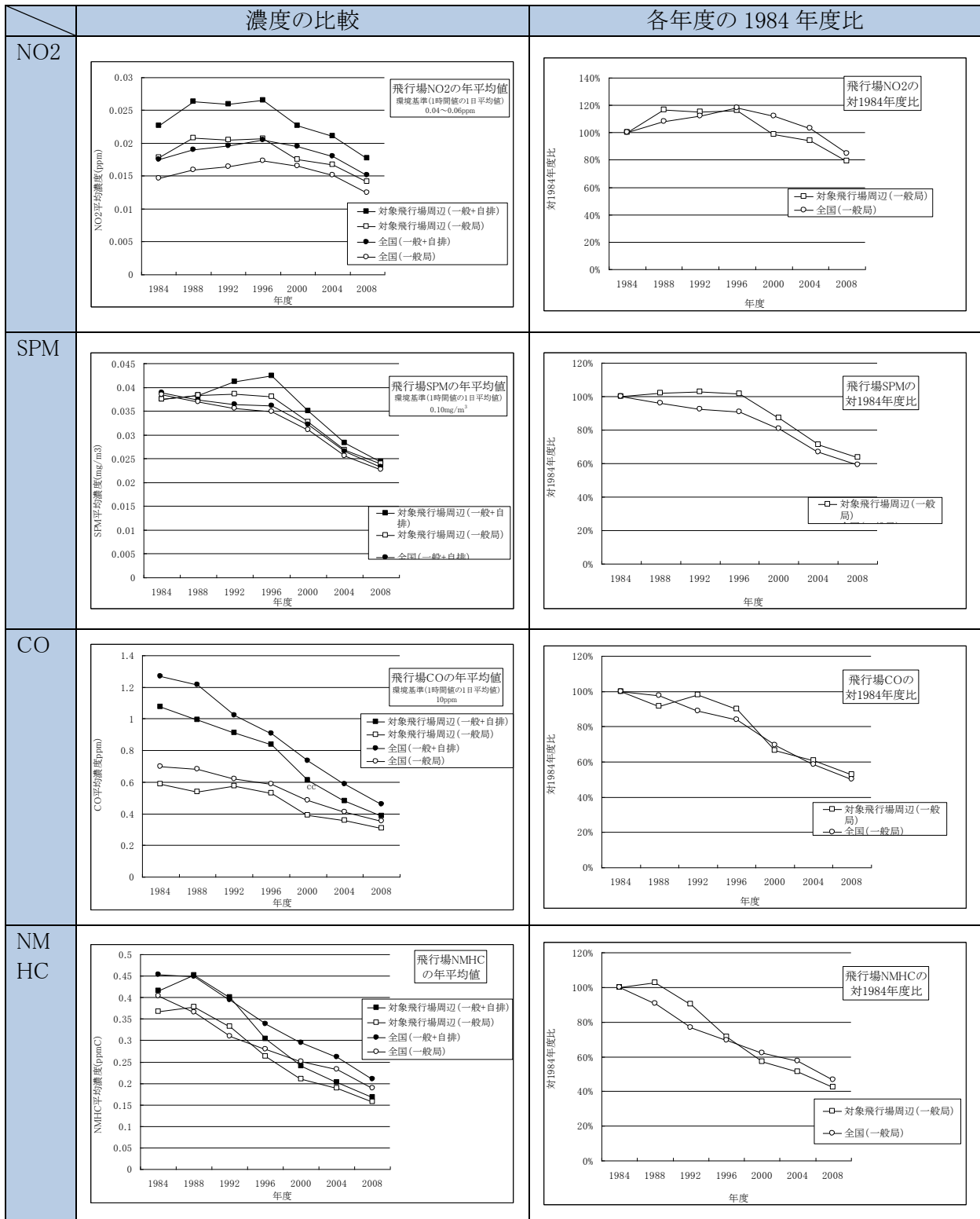


図 2.15 全国平均と対象飛行場周辺における年平均濃度の比較 (①-1)

2008年度における月間値の推移(図 2.16)では以下の傾向がみられた。

- 測定局の種別による濃度の高低の順序はいずれの物質でも年間値と概ね同じだった。
- SPMは7月にピークがあり、それ以外は12月頃にピークがあった。



図 2.16 全国(ここでは 26 都道府県)平均と対象飛行場周辺における月平均濃度の比較(①-2)

2008年度における時間値の推移(図 2.17)では以下の傾向がみられた。

- 測定局の種別による濃度の高低の順序はいずれの物質でも年間値と概ね同じだった。
- いずれの物質でも朝方と晩にピークが現れていた。
- CO 及び NMHC は、時間帯別値の平均値に対する増減は飛行場周辺のほうが緩やかだった。

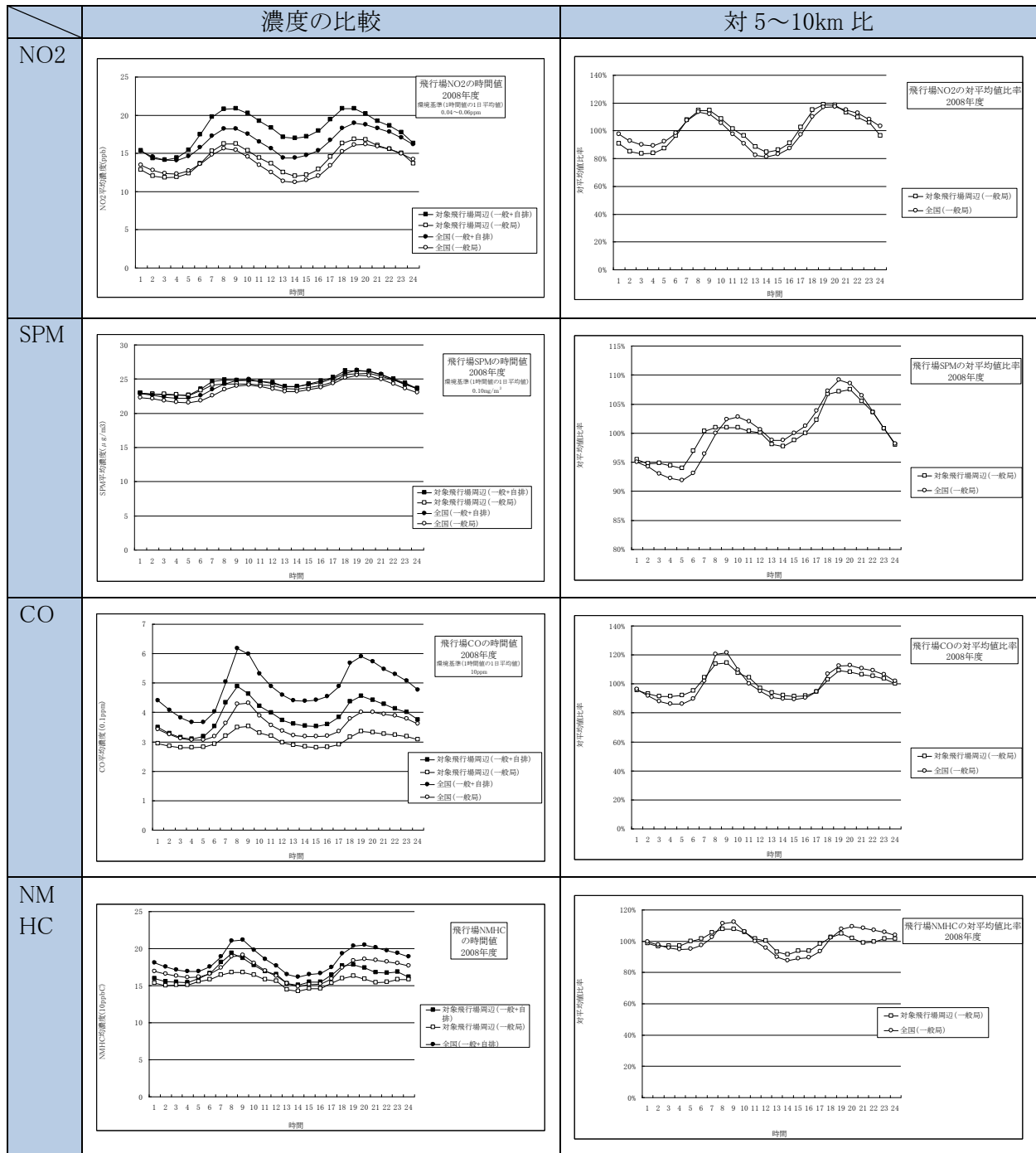


図 2.17 全国(ここでは 26 都道府県)平均と対象飛行場周辺における時間平均濃度の比較(①-3)

② 対象飛行場平均の距離別濃度の比較(②a-1~3)

対象飛行場周辺の距離別の濃度の変化を比較するために、1984年度～2008年度における4年おきの年間値の比較を図2.18に、2008年度における月間値の比較を図2.19に、2008年度における時間値の比較を図2.20に示す。なお、自排局を含めたデータと一般局のみのデータを比較したところ、大きな違いがなかったため、一般局のみのデータを示した。

また、距離別の傾向を明らかにするために、1km未満の事業者設置局、その他の5km以内の測定局平均濃度の5～10kmの測定局平均濃度との比率を合わせて示した。

1984年度～2008年度における4年おきの年間値(図2.18)では、以下の傾向がみられた。

- ▶ いずれの物質も近年は飛行場に近いほど濃度が低かった。
※成田空港周辺の事業者設置局は2000年度から、中部空港周辺の事業者設置局は2004年度からのデータに含まれている。それ以前は伊丹空港周辺のデータのみのため、経年変化が安定していなかった。
- ▶ NO₂は1992年頃以降、飛行場から1km未満の濃度の減少割合が大きかった。近年は緩やかに減少していた。
- ▶ SPM、CO、NMHCも、飛行場から1km未満とそれ以外で濃度の減少割合に異なる傾向がみられた。

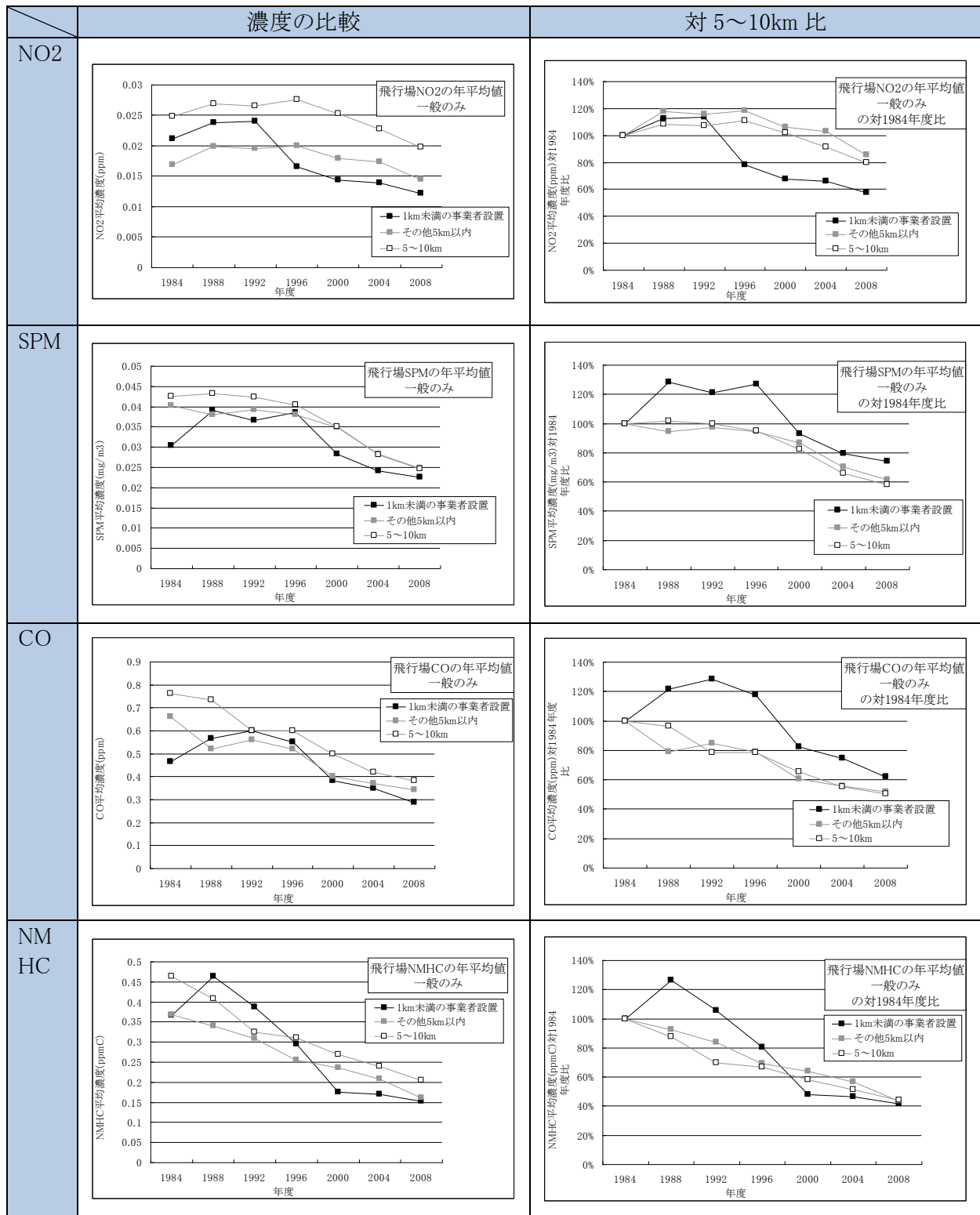


図 2.18 対象飛行場平均の距離別年間値の比較(②a-1)

2008年度における月間値(図 2.19)では以下の傾向がみられた。

- NO₂、CO では、いずれの月でも、飛行場周辺に最も近い測定局の濃度が低い傾向があった。
- SPM について飛行場からの距離による顕著な違いはみられなかった。
- NMHC について年明けに最も近い測定局の月別濃度比が上昇していた。

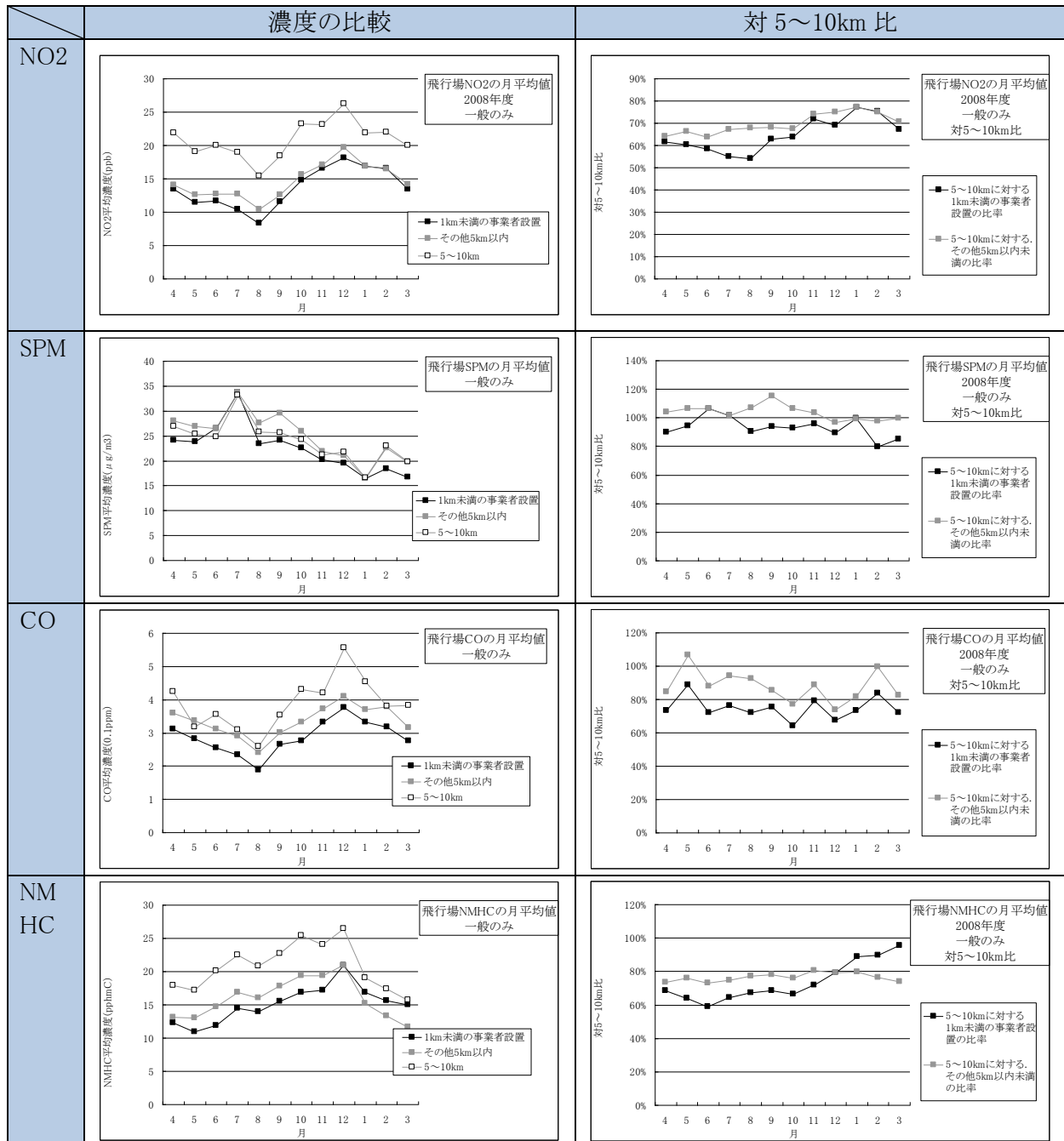


図 2.19 対象飛行場平均の距離別月間値の比較(②a-2)

2008 年度における時間値 (図 2.20) では以下の傾向がみられた。

- いずれの物質、時間帯でも、飛行場周辺に最も近い測定局の濃度が低い傾向がある。
- いずれの物質も朝晩にピークがある。

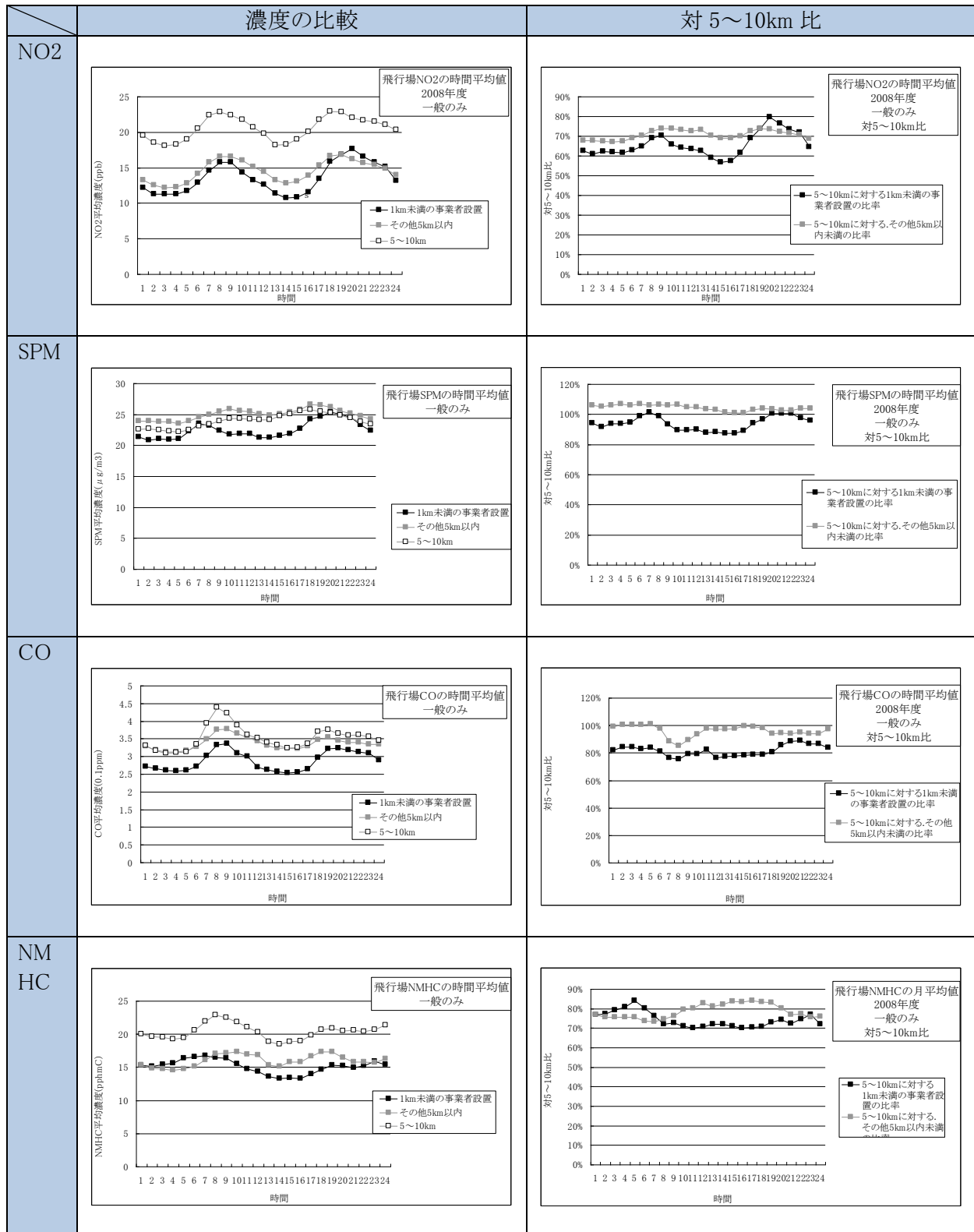


図 2.20 対象飛行場平均の距離別時間値の比較 (②a-3)

③ 対象飛行場別の距離別濃度変化(②c-1~3)

対象飛行場別の距離別濃度(②c-1~3)のグラフについては参考資料3に示した。年間値は減少傾向であったが、NMHCの5~10kmでは2000年頃ピークがある飛行場もあった。年間値、月間値、時間値の変動は類似傾向であったが、最も近傍で濃度の高いもの、5km以内で高いものなど濃度の高低は様々であった。図2.21には特徴的な傾向及びその事例を示した。

④ 対象飛行場平均の風向別時間平均濃度変化(③a-3)

対象飛行場における飛行場方面が風上となる方面の平均濃度とその他の方面の平均濃度を比較するために、2008年度における時間値の推移を図2.22に示した。なお、上記の比較には、一般局のデータのみを使用した。

また、飛行場方面を風上とする風向とその他の風向の時間帯別濃度を比較するために、上記と合わせて、飛行場方面を風上とする風向のその他の風向に対する比率を示した。

距離別濃度(②c-1~3)(図 2.21)では以下の状況がみられた。

- 年間値、月間値、時間値の変動は類似傾向であったが、最も近傍で濃度の高いもの、5km以内で高いものなど濃度の高低は様々であった。

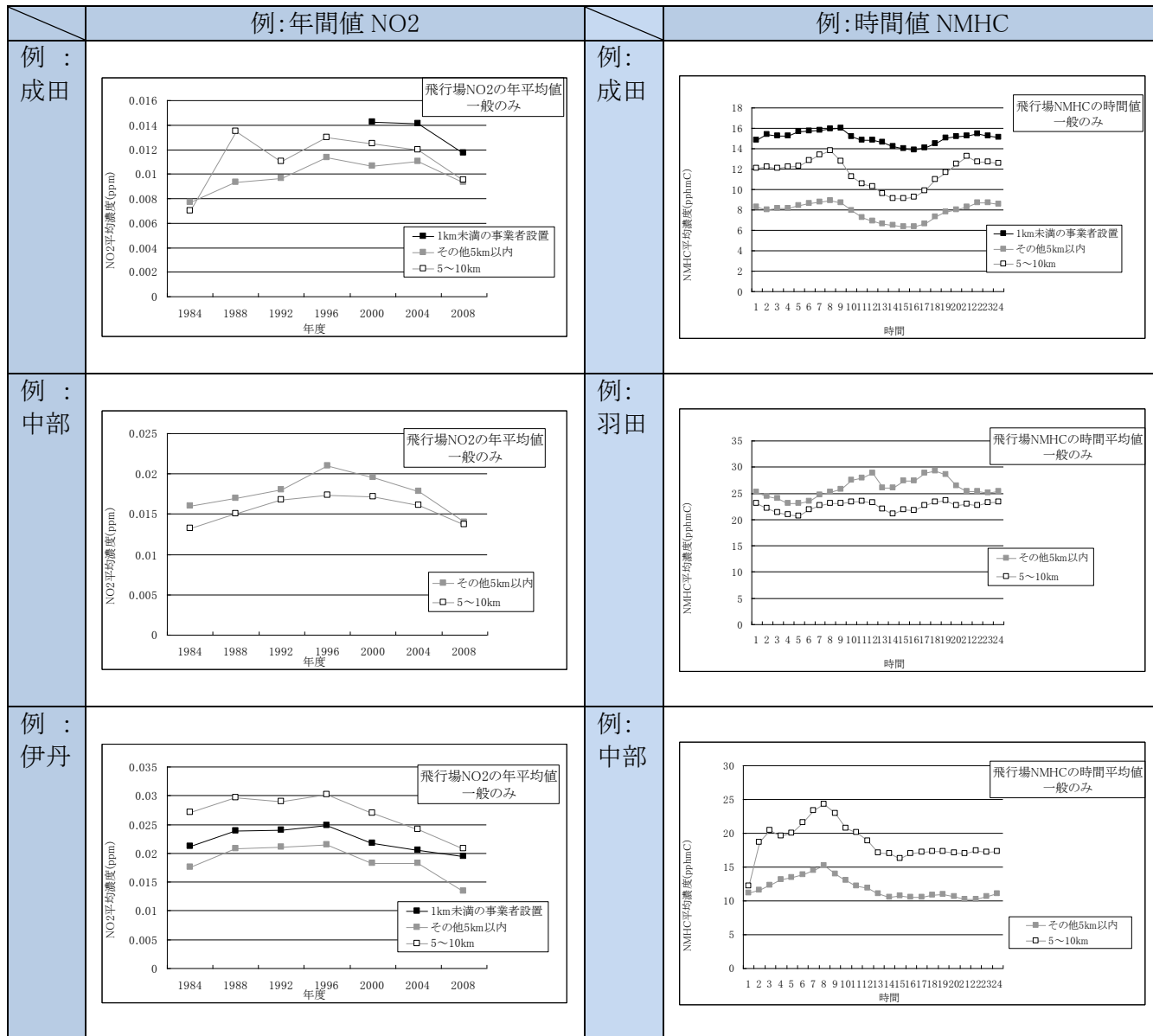


図 2.21 飛行場ごとの距離別年間値、時間平均値の比較の例(②c-1、3)

2008 年度における時間帯別平均値の推移(図 2.22)については以下の傾向がみられた。

- いずれの物質でも空港方面が風上になる方面からの風向は、その他の風向に比べて、濃度が低い傾向があった。
- NO2 では、昼間の時間帯(9~22 時頃)ではその他の風向と同程度の濃度だった。
- NO2 以外の物質では、空港方面が風上になる方面からの風向きとその他の風向きの比率は、時間帯による特徴的な増減はなかった。

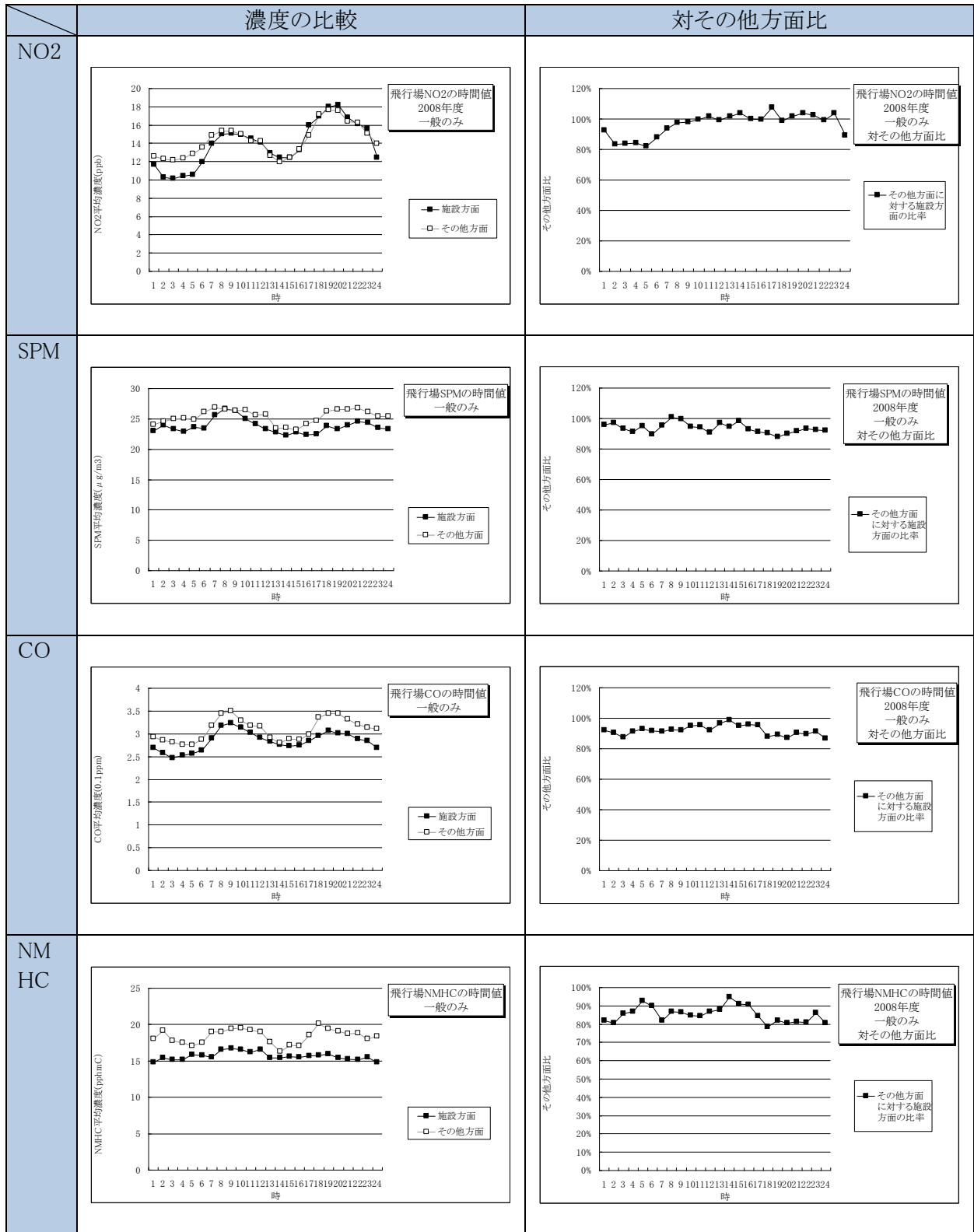


図 2.22 対象飛行場の風向別時間値の比較(③a-3)

⑤ 測定局別の風向別時間平均変化(③d-3)

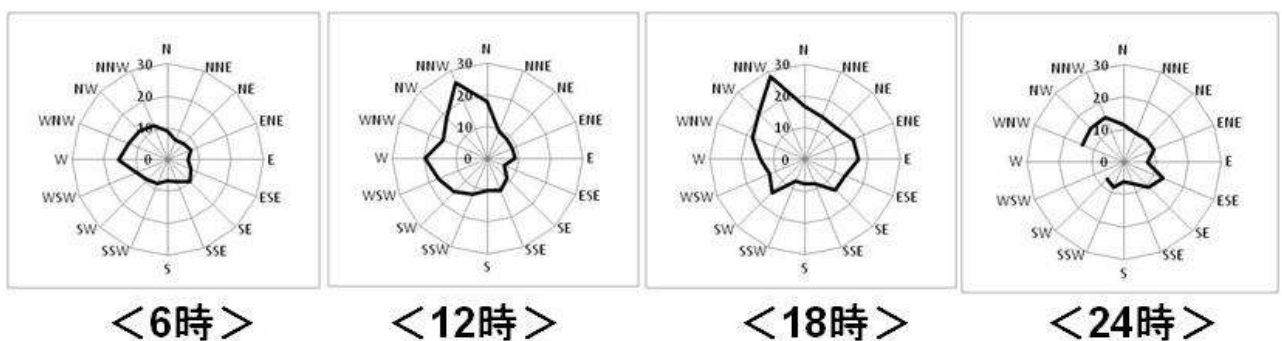
表 2.6 に示した測定局について、測定局別の風向別時間平均濃度を整理した結果を参考資料 3 に示した。NO₂ は測定局によっては施設方面からの風向の際に濃度が高くなる傾向があった。NO₂ 以外では風向(施設方面以外も含めて)による濃度の違いが明確でないものが多かった。飛行場側からの風向の際に濃度が高くなっている例を以下に示す。

成田_A滑走路南局の位置及び周辺施設との位置関係を図 2.23 に示した。成田_A滑走路南局は成田空港に設定されている測定局のなかでもっとも滑走路に近く、昼間の時間帯の飛行場方面からの風向における濃度が高い傾向がみられた(6時、12時、18時、24時のNO₂の例を図 2.24 に示した)。



注:左図は ArcGIS 及び国土数値情報に基づいて作図、右図は Google map である。

図 2.23 成田_A滑走路南局と周辺施設の位置関係



注:同一の風向で年間のデータ数が2以下の場合には、データを除外しているため、グラフがとぎれている場合がある。

図 2.24 成田_A滑走路南局におけるNO₂濃度(ppb)の風向別の時間値の例

⑥ 飛行場周辺における分析結果の考察

上記①～⑤により、飛行場周辺の大気汚染状況については、以下のとおりである。

- NO₂、SPM について全国平均と比較すると、対象飛行場周辺(5km範囲内)は濃度が高かった(①-1)。
- 対象飛行場周辺を距離(1km範囲内の事業者設置局、その他5km範囲内、5～10km)で区分した場合、近年は近傍ほど濃度が低い傾向があったが、個別の飛行場ではその傾向は明確ではなかった。
- NO₂ については飛行場方面を風上とする風向からの濃度が高い測定局もあったが、その他の物質では風向による濃度の違いが明確でないものが多かった。(③d-3)

以上により、概ね対象飛行場周辺の近傍ほど濃度が低い傾向が示唆される一方、NO₂ ではごく近傍で影響がある可能性も示唆された。影響の大きさや割合、範囲については不明であるものの、航空機、飛行場周辺の走行車両からもある程度の影響があることは推測される。

第3章 船舶・航空機大気汚染物質の排出量推計手法調査

3.1 背景・目的

本章では、各種の目的のために船舶及び航空機からの排出ガスの影響を定量化する際に使用することが可能な排出量推計手法を整理することを目的とする。

3.2 推計区分

推計の目的等に応じて使い分けが可能となるよう、推計区分毎に把握可能となる内容を表 3.1 に示す。

表 3.1 推計区分ごとの推計により把握可能となる内容

推計区分	区分の種類	把握可能となる内容
推計対象地域	全国	他の発生源と比較するなどして、日本全体における割合を把握したり、他国の状況との違いを把握したりする。
	特定の地域(都道府県、市町村、港湾・飛行場周辺など)	他の地域と比較することによって、当該地域の状況との違いを把握する。 当該地域内における他発生源と比較して、寄与割合を把握する。
種類や規模	種類別(機種、船種、燃料種類など)	種類別の寄与度を把握する(対策の種類特定の必要性を判断する)。
	規模別(総トン数、離陸推力など)	規模別の寄与度を把握する(対策のすそきり要件を決める)。
対象年度	最新年度	現状を把握する。
	経年変化	規制や対策の実施状況、活動量の変化と比較して、対策の効果などを把握する。
	将来	対策の効果、活動量の変動の影響を把握する。

3.3 既存文献における推計の実施もしくは手法の提示状況

推計手法を提示もしくは推計を実施している文献には表 3.2、表 3.3 に示すものがある。これらについて、推計手法の提示もしくは実施状況を整理した結果を表 3.4、表 3.5 に示す。推計を実施している場合には○、手法を提示している場合には△を示す。また、対象としている物質も合わせて示す。対象としている物質は、常時監視局データの解析で対象とした物質に限定するが、いずれの物質も推計(手法を提示)していない場合には、その他の物質も参考に記載した。

表 3.2 調査対象報告書等一覧(船舶)

No.	報告書等名
1	窒素酸化物総量規制マニュアル[新版](公害対策研究センター)
2	PRTR 届出外排出量推計方法の詳細(環境省)
3	環境省委託調査 平成 8 年度 船舶排出大気汚染物質削減手法検討調査((財)日本システム開発研究所)
4	環境省委託調査 平成 12 年度 船舶排出大気汚染物質削減手法検討調査((社)マリンエンジニアリング学会)
5	環境省委託調査 平成 14 年度 船舶排出大気汚染物質規制手法検討調査((株)三菱総合研究所)
6	環境省委託調査 平成 15 年度 マルポール条約附属書VIに係る制度化に向けた調査((財)日本システム開発研究所)
7	平成 19 年度 船舶起源の粒子状物質(PM)の環境影響に関する調査研究報告書(海洋政策研究財団)
8	平成 20 年度 船舶からの温室効果ガス及び大気汚染物質の総排出量算定調査報告書(海洋政策研究財団)
9	Second IMO GHG Study 2009
10	EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – 2009
11	European Commission Directorate General Environment Service Contract on Ship Emissions: Assignment, Abatement and Market-based Instruments Contract No: 070501/2004/383959/MAR/C1 Task 1 – Preliminary Assignment of Ship Emissions to European Countries Final Report (EU)
12	CONCAWE Ship Emissions Inventory – Mediterranean Sea; Final Report (EU)
13	Proposal to Designate an Emission Control Area for Nitrogen Oxides, Sulfur Oxides and Particulate Matter; Technical Support Document (米国)
14	Marine emission inventory study: Eastern Canada and Great Lakes(カナダ)
15	Emission Estimation Technique Manual for Maritime operations Version 2.0 - July 2008 (オーストラリア)

表 3.3 調査対象報告書一覧(航空機)

No.	資料名
1	窒素酸化物総量規制マニュアル[新版](公害対策研究センター)
2	PRTR 届出外排出量推計方法の詳細(環境省)
3	環境省委託調査 平成 8 年度 航空機排出大気汚染物質削減手法検討調査報告書(平成 9 年 3 月、(株)三菱総合研究所)
4	環境省委託調査 平成 11 年度 国内主要 4 空港を中心とした NO _x 排出量の現状と将来に関する研究調査報告書(平成 12 年 3 月、(株)三菱総合研究所)
5	Doc 9889; Airport Air Quality Guidance Manual; PRELIMINARY EDITION-2007 (ICAO)
6	EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – 2009
7	Evaluation of Air Pollutant Emissions from Subsonic Commercial Jet Aircraft (米国)
8	Recommended Best Practice for Quantifying Speciated Organic Gas Emissions from Aircraft Equipped with Turbofan, Turbojet, and Turboprop Engines, Version 1.0(米国)
9	Emission Estimation Technique Manual for Airports Version 1.0 - July 2008 (オーストラリア)

表 3.4 推計の実施もしくは手法の提示状況(船舶)

No.	推計対象地域		種類や規模		対象年度			対象物質	備考
	全国	特定地域	種類	規模	現行	経年変化	将来		
1	△	△	△	△	△	—	—	NO _x , SO _x	
2	○	○	○	○	○	○	—	(参考)PRTR 対象 化学物質(NMVOC)	毎年実施
3	—	○	○	○	○	—	—	NO _x , SO _x , PM	現行=H6 年度
4	○	—	○	○	○	—	—	NO _x , SO _x	現行=H10 年度
5	—	○	○	○	○	—	○	NO _x , SO _x	現行=H11 年度
6	○	○	○	○	○	—	—	NO _x , SO _x , PM	現行=H12 年度
7	—	○	○	○	○	—	○	NO _x , SO _x , PM	現行=H12 年度
8	—	○	○	○	○	—	○	NO _x , SO _x , PM	現行=H19 年度
9	—	○	—	—	○	○	○	NO _x , SO _x , PM	対象地域; 世界 種類・規模; なし(燃料消費量× 排出係数により算出)
10	—	△	△	△	△	—	—	NO _x , SO _x , PM 等	対象地域; EU(国ごと) 推計手法や排出係数のみ提示 (推計結果なし)
11	—	○	○	○	○	—	○	NO _x , SO _x , PM 等	対象地域; EU(国ごと) 現行=H12、将来=H22
12	—	○	○	—	○	—	—	NO _x , SO _x , PM 等	対象地域; 地中海及び沿岸 現行=H17
13	—	○	○	—	○	○	○	NO _x , SO ₂ , PM 等	対象地域; 米国沿岸 現行=H14、将来=H32
14	—	○	○	—	○	—	○	NO _x , SO ₂ , PM 等	対象地域; カナダ東海岸及び五 大湖地域 現行=H14、将来=H32
15	—	△	—	△	—	—	—	NO _x , SO ₂ , PM 等	対象地域; 豪州 停泊中補助エンジンからの排出 も対象(もともと港湾からの排出 が対象) 推計手法や排出係数のみ提示 (推計結果なし)

表 3.5 推計の実施もしくは手法の提示状況(航空機)

No.	推計対象地域		種類や規模		対象年度			対象物質	備考
	全国	特定地域	種類	規模	現行	経年変化	将来		
1	△	△	△	△	△	—	—	NO _x 、SO _x	
2	○	○	○	○	○	○	—	(参考)PRTR 対象 化学物質(NMVOC)	毎年実施
3	○	○	○	○	○	—	○	NO _x 、CO、HC	フライオーバーも推計 現行=H6 年度 将来=H12 年度
4	—	○	○	○	○	—	○	NO _x 、VOC、HC	現行=H9 年度 将来=H12、17、22
5	—	△	△	—	△	—	—	CO、NO _x 、VOC、PM 等	推計手法やエンジン種類ごとの LTO あたりの排出量を掲載 拡散モデルも使用 (推計結果なし)
6	—	△	△	△	△	—	—	CO、NO _x 、 NMVOC、PM2.5	推計手法やエンジン種類ごとの LTO あたりの排出量を掲載 (推計結果なし)
7	—	○	○	—	○	—	○	VOC、NO _x 、SO ₂ 、 CO	米国の主要飛行場が対象 現行=1990、将来=2010
8	—	△	△	—	△	—	—	THC、VOC、NMOG	推計手法やエンジン種類ごとの LTO あたりの排出量を提示 有害大気汚染物質の排出量を推 計するためのガイダンス (推計結果なし)
9	—	△	△	—	△	—	—	HC、VOC、CO、NO _x	対象地域; 豪州 補助エンジンからの排出も対象 (もともと地上支援車や空港施設 からの排出が対象) 推計手法や排出係数のみ提示 (推計結果なし)

3.4 各手法における必要なデータ種類と入手難易度

船舶における国内の推計手法については、いずれの文献でも「窒素酸化物総量規制マニュアル」(文献番号1(表 3.2 参照))をベースにしている場合が多く、新たに得られたデータを使って、使用する活動量の数値を適宜入れ替えている以外は手法自体に大きな差はない。航空機についても LTO サイクルの燃料消費量をベースに推計を行っており、手法自体に大きな違いはない。そこで、各報告書における排出量推計に必要なデータの種類と入手難易度判定については、国内の文献のいくつかに掲載された手法について実施することとする。

排出量推計に必要なデータの入手難易度の判定の対象とした報告書は表 3.6 のとおりである。

表 3.6 排出量推計に必要なデータの入手難易度の判定の対象とした報告書

	文献 番号	資料名	参照
船舶	5	環境省委託調査 平成 14 年度 船舶排出大気汚染物質規制手法検討調査((株)三菱総合研究所)	表 3.8
	8	平成 20 年度 船舶からの温室効果ガス及び大気汚染物質の総排出量算定調査報告書(海洋政策研究財団)	表 3.9
航空機	2	PRTR 届出外排出量推計方法の詳細(環境省)	表 3.10
	4	環境省委託調査 平成 11 年度 国内主要 4 空港を中心とした NOx 排出量の現状と将来に関する研究調査報告書(平成 12 年 3 月、(株)三菱総合研究所)	表 3.11

データ入手の難易度は表 3.7 に示すとおり分類できる。既存の推計手法のデータ入手の難易度について表 3.7 の区分で整理を行う。

表 3.7 データ入手の難易度判定の考え方

判定	記号	考え方
簡単	◎	既存の統計・調査により電子データで入手が可能
やや簡単	○	既存の統計・調査の入力/集計により作成が可能
		数式が設定されており、計算により算出が可能(数式へのインプットデータも入手可能な場合)
ふつう	△	業界団体等へのヒアリングにより入手が可能
やや難	▲	GIS 等を用いて個別施設ごとの設定が必要
		アンケート調査によるデータ収集が必要
難	×	実測調査、訪船調査等が必要

表 3.8 船舶報告書 NO.5 の推計に必要なデータとデータ入手の難易度判定

データ番号	データ内容	データ出典等	データ入手の難易度判定	備考
①	港湾ごとの総トン数クラス別・内航/外航別・入港船舶数(隻/年)	港湾統計	○	
②	総トン数クラス別・内航/外航船舶別・船種比率(%)	内航船:船舶船員統計(国内の内航船舶数)(国土交通省指定統計28号)	○	当該調査は平成18年度で中止
		外航船:外航船舶の船種別入港数「平成11年度日本沿岸域船舶航行環境調査報告書」((社)日本海難防止協会)	○	元データはロイズ
③	船種ごとの総トン数と主機ディーゼル機定格出力(PS)との関係式	窒素酸化物総量規制マニュアル[新版](公害対策研究センター)	○	文献番号1
④	主機定格出力と補機定格出力の関係式	「平成13年内航船の機器・装置の現状と使用に関する調査報告書」(日本内航海運組合総連合会)に掲載されたデータを用いて作成	○	No.1 報告書に船種ごとの補機ディーゼル機関における総トン数と定格出力の関係式が掲載されているが、この関係式は実データと乖離が大きいため新たに設定している。
⑤	船種(タンカーと他)ごとの総トン数と補助ボイラーの燃料消費量(L/h)との関係式	窒素酸化物総量規制マニュアル[新版](公害対策研究センター)	○	文献番号1
⑥	船種(タンカーと他)別・総トン数クラス別補助ボイラー搭載率(%)	「平成13年内航船の機器・装置の現状と使用に関する調査報告書」(日本内航海運組合総連合会)に掲載されたデータを用いて作成	○	
⑦	東京湾内における港湾内外別航行速度(ノット)	「平成11年度船舶ばい煙排出実態調査」(川崎市)	東京湾・大阪湾:○ 上記以外:▲	大阪湾は同じと仮定 東京湾以外については設定する場合には、調査が必要
⑧	船舶総トン数と最大航行速度の関係式	本報告書で設定	○	
⑨	東京湾/大阪湾内往復距離(km)	本報告書で設定	東京湾・大阪湾:○ 上記以外:▲	東京湾・大阪湾以外については設定する場合には、調査が必要
⑩	停泊時主機ディーゼル負荷率(%)	本報告書で設定	○	6,000 総トン未満の内航タンカーのみ50%、他は0%

データ番号	データ内容	データ出典等	データ入手の難易度判定	備考
⑪	航行時内航/外航船別補機ディーゼル負荷率(%)	本報告書で設定	○	内航船 100% 外航船 50%(排ガスエコマイザー)
⑫	停泊時船種別・非荷役/荷役別補機ディーゼル負荷率(%)	窒素酸化物総量規制マニュアル[新版](公害対策研究センター)	○	
⑬	内航/外航船別停泊時間及び荷役時間(h)	「平成 11 年度船舶ばい煙排出実態調査」(川崎市)に掲載されたデータを集計して設定	○	船種別に差異はないと結論
		外航船における荷役時間/停泊時間比:窒素酸化物総量規制マニュアル[新版](公害対策研究センター)	○	
⑭	燃料中の硫黄分含有率(%)	平成 13 年度 船舶排ガスの環境への影響と排出抑制に関する総合的調査報告書(S&O 財団)	◎	
⑮	総トン数クラス別・船種別 A 重油使用率(%)	内航船における A 重油専焼船、A/C ブレンド油使用船及び C 重油専焼船の実態調査(日本内航海運組合総連合会)の平成 13 年度実施調査結果に基づいて設定	○	
⑯	総トン数クラス別・船種別補機・ボイラー A 重油使用率(%)	平成 13 年度 船舶排ガスの環境への影響と排出抑制に関する総合的調査報告書(S&O 財団)	○	⑮の燃料使用率は S&O 財団のデータを否定しているため矛盾
⑰	主機定格出力と定格回転数との関係式	日本船用工業会の数値	○	
⑱	主機回転速度(rpm)と NOx 排出量(g/kWh)の関係式	IMO 規制値	◎	
		平成 13 年度 船舶排ガスの環境への影響と排出抑制に関する総合的調査報告書(S&O 財団)における IMO 規制値に対する未規制値の割合を使用し補正	○	
⑲	ボイラーにおける燃料消費量当たりの NOx 排出量(g/kg-fuel)	平成 13 年度 船舶排ガスの環境への影響と排出抑制に関する総合的調査報告書(S&O 財団)	◎	
⑳	燃料消費量あたりの SOx 排出量(g/kg-fuel) ※硫黄濃度の関数	窒素酸化物総量規制マニュアル[新版](公害対策研究センター)	◎	
21	主機出力(PS)と燃料消費量(kg/h)の関係式	窒素酸化物総量規制マニュアル[新版](公害対策研究センター)	○	

出典:「環境省委託調査 平成 14 年度 船舶排出大気汚染物質規制手法検討調査」((株)三菱総合研究所)に基づいて作成

表 3.9 船舶報告書 NO.8 の推計に必要なデータとデータ入手の難易度判定

データ番号	データ内容	データ出典等	データ入手の難易度判定	備考
①	定格出力と機関回転数の関係式	「既存船舶からの世界的な大気汚染物質排出量に関する調査研究」(平成 19 年 3 月、(財)日本船舶技術研究協会)	○	元データはロイズ (Lloyd's)
②	回転数と NOx 排出係数の関係	IMO の規制値 (Tier I)	○	建造年が 2000 年以前は上記の 30% 増し
③	SOx、PM 排出係数	不明 (掲載なし)	(判定不能)	
④	船齢別船舶数構成比	Lloyd's Register	○	
⑤	ボイラーの NOx 排出係数	シップアンドオーシャン財団 2008	○	8kg/t-fuel
⑥	カテゴリー別船舶数、主機・補機の平均出力、航行時間、負荷率等	「PREVENTION OF AIR POLLUTION FROM SHIPS Updated 2000 Study on Greenhouse Gas Emissions from Ships Phase1 Report」	○	外航船登録された船舶による同一国内航行含む
⑦	国内航行による燃料種類別燃料消費量 (t)	IEA 推計 (2007)	○	

出典:「平成 20 年度 船舶からの温室効果ガス及び大気汚染物質の総排出量算定調査報告書」(海洋政策研究財団)に基づいて作成

表 3.10 航空機報告書 NO.2 の推計に必要なデータとデータ入手の難易度判定

データ番号	データ内容	データ出典等	データ入手の難易度判定	備考
①	エンジン別 THC 排出係数	Aircraft Engine Emissions Individual Datasheets (Civil Aviation Authority)	◎	左記出典のなかに HC の他、NOx、CO のデータがある
		米国 FAA (The Federal Aviation Administration ; 連邦航空管理局) データ	×	現在は不掲載
②	機種とエンジン種類の対応	定期航空協会調べ	○	
③	各エンジンの離陸推力	航空統計要覧 (平成 12 年 12 月 ; (財)日本航空協会) Aircraft Engine Emissions Individual Datasheets (Civil Aviation Authority) (平成 22 年 12 月)	○	

データ番号	データ内容	データ出典等	データ入手の難易度判定	備考
④	離陸推力と燃料消費量の関係	①と同じ	○	
⑤	国内主要空港におけるLTOサイクルの運転モード別継続時間	航空機排出大気汚染物質削減手法検討調査報告書(平成9年3月;環境庁) 平成12年度PRTRパイロット事業報告書(平成13年8月、経済産業省・環境省)	○	
⑥	空港別の全機種合計の年間着陸回数(回/年)	空港管理状況調書(国土交通省)	○	主要空港以外は主要空港の平均値を採用している
⑦	国内航空会社 ^{注)} の空港別・機種別年間着陸回数(回/年)	定期航空協会調べ	○	
⑧	⑦以外の国内航空会社及び海外航空会社の空港ごとの機種別着陸回数構成比(%)	JTB時刻表	○	PRTRとして公表されたデータを使用した場合

出典:「PRTR届出外排出量推計方法の詳細」(環境省)に基づいて作成

表 3.11 航空機報告書 NO.4 の推計に必要なデータとデータ入手の難易度判定

データ番号	データ内容	データ出典等	データ入手の難易度判定	備考
①	空港別年間着陸回数(回/年)	国内線:「航空輸送統計(平成9年度)」(運輸省運輸政策局)	◎	平成21年度版が最新版として存在
		国際線:定期旅客、貨物便スケジュールから設定	○	
②	国際線における航空会社別・航空機機種別・エンジン型式別着陸回数(回/年)	運輸省統計データ、航空会社各社定期便スケジュール、航空会社機材資料等から作成	△～○	設定方法の詳細が不明
③	LTOサイクル継続時間(s/回)	三菱総研実測値	○	ただし新たな測定は「×」
④	エンジン型式別・LTOサイクル別燃料流量(kg-fuel/s)、排出係数(g/kg-fuel)	ICAO Emission Database	◎	

出典:「環境省委託調査 平成11年度 国内主要4空港を中心としたNOx排出量の現状と将来に関する研究調査報告書」(平成12年3月、(株)三菱総合研究所)に基づいて作成

第4章 船舶・航空機排出大気汚染物質の環境濃度寄与率把握手法の調査

4.1 背景・目的

船舶からの大気汚染物質放出規制海域(ECA:Emission Control Area)設定に関する国際的な流れがあり、北米海域については、米国、カナダ及びフランスにより提案され、2010年3月26日にIMO国際会合で採択された(発効予定は2012年8月)。今後ECA設定のためには、北米ECAの提案内容と同等の提案内容(調査結果)が基本となることが予想されるため、本章では、北米ECAの提案の際に提示された発生源別の環境濃度寄与等に関する調査結果等の概要を示すと共に、我が国における同様な調査の有無、その内容について概要を整理し、我が国周辺におけるECAが必要となる場合に必要になると想定される情報の過不足について把握することを目的とした。

4.2 ECA指定の際に必要とされる情報(ECAの設置に関する過程)

各国(地域)は、マルポール条約附属書VIに基づき、特定の海域を設定して、一般海域の基準よりも厳しい排出基準を適用することができる。同附属書VI付録IIIにおいて、船舶からの硫黄酸化物(SO_x)、粒子状物質(PM)及び窒素酸化物(NO_x)の放出規制海域を指定するための提案についての基準(クライテリア)を規定している。ECAを指定するため提案書には、以下に示すクライテリアを満足していることを示す必要がある。

- (1) 海域の範囲
- (2) 規制の対象物質
NO_x、SO_x、PM、又はこれら3種の排出
- (3) 船舶からの排出の影響による危険に曝されている住民並びに陸地及び水域の説明
- (4) 船舶からの排出がもたらす環境影響評価
 - ・船舶からの排出が、大気汚染の環境濃度を進行させることについての評価、また、人の健康、生態系(陸域、水域)、自然の生産性、危機的な状態にある生息域、水質、人の健康並びに文化的・科学的に重要な地域への悪影響についての説明
 - ・使用した方法などの関連情報の出所の特定
- (5) 大気汚染の環境濃度と環境への悪影響を一層高める要因の情報
 - ・気象条件(特に、卓越風のパターン)
 - ・地形学的、地理学的、海洋学的、形態学的な要因
- (6) 指定海域での船舶交通の性質(特性とふくそう状況)
- (7) 陸上排出源に関する規制措置
- (8) 陸上規制に比較しての船舶規制の相対的な費用と国際航海に従事する船舶への経済的影響

注:網掛けの項目は「発生源別の環境濃度寄与等を把握する手法」に関係すると考えられる項目。

出典:「平成21年度船舶排出大気汚染物質削減技術検討調査報告書」(平成22年3月、マリンエンジニアリング学会)P.32-33

4.3 北米ECAにおける環境濃度寄与に関する提案内容

北米ECA指定の提案書³によれば、CHAPTER 3「Impacts of Shipping Emissions on Air Quality, Health and the Environment」の3.1「Pollutants Reduced by the ECA」において、物質ごとに、発生源の概要が示されている。PM、オゾン及びDEPに関する記載は、別途実施された詳細なアセスメントレポートからの引用であるが、別途実施されているレポートには、環境中濃度からの発生源寄与度解

³ Proposal to Designate an Emission Control Area for Nitrogen Oxides, Sulfur Oxides and Particulate Matter, Technical Support Document” (2009年4月、EPA) (<http://www.epa.gov/otaq/oceanvessels.htm>)

析については、PM では手法の紹介、DEP では解析事例の紹介があった。

また、「3.2 Current and Projected Air Quality」では、大気拡散シミュレーションモデルへ発生源別排出量を入力し、環境中濃度のモデル計算を行なって、ECA 指定を行った場合の環境濃度の変化（また環境基準の適合状況の変化）について推測を行っている。さらに、「3.2.5 Air Quality Modeling Methodology」では、上記の濃度計算に使用したモデル CMAQ モデル⁴の概要、適用範囲、インプットデータ、モデルの評価について概説している。

4.4 我が国における調査事例

4.3 で示したとおり、北米 ECA では一部物質について、環境中濃度からの発生源解析の手法の紹介や発生源解析が行われた事例が示されている。そこで、我が国における物質毎の環境中濃度からの発生源寄与度解析の調査事例を収集した結果、以下の調査が実施されていた。調査事例と概要を表 4.1 に示す。

表 4.1 我が国における物質毎の環境濃度に基づく発生源解析の調査事例と概要

物質	調査名	概要
PM(PM2.5)	国立環境研究所「都市大気環境中における微小粒子・二次生成物質の影響評価と予測」調査 ⁵	CMB 法によって全国 4 箇所における発生源解析を実施。CMB 法によって得られた結果と、大気質モデル CMAQ によって得られた結果の比較も実施。
	東京都微小粒子状物質検討会資料 ⁶	PMF 法及び CMB 法によって PM2.5 の発生源解析を実施。発生源が特定できない「その他」の割合が非常に高い状況。
PM(PM2.5)、オキシダント	国立環境研究所「PM2.5 と光化学オキシダントの実態解明と発生源寄与評価に関する研究」(平成 22～24 年度) ⁷	モデル解析等による発生源寄与度評価の検討を実施中。
ディーゼル排気粒子 (DEP)	特になし(環境中濃度のシミュレーション等を行った事例 ⁸ はあるが、DEP のみの環境中濃度からの発生源寄与度解析事例は把握できなかった)	—

⁴ Community Multiscale Air Quality model の略称。アメリカ環境保護庁(EPA)が 1998 年にリリースした大気シミュレーションモデル。

⁵ 国立環境研究所ホームページ <http://www.nies.go.jp/kenkyu/gaibuhyoka/h21/h21-4-1b.html>

⁶ 東京都ホームページ

http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/air/conference/particulate_matter/study_committee_06.html

⁷ 国立環境研究所ホームページ http://www.nies.go.jp/rp_1st/r_detail.php?op=20992

⁸ 国立環境研究所ホームページ「大気中微小粒子状物質(PM2.5)・ディーゼル排気粒子(DEP)等の大気中粒子状物質の動態解明と影響評価プロジェクト(終了報告)」(平成 13 年～17 年度)

<http://www.nies.go.jp/kanko/tokubetu/sr74/index.html>

また、我が国において船舶、又は航空機からの排ガス排出量を使用して、環境中濃度を計算した調査結果を収集したところ、以下の調査が実施されていた。調査事例と概要を表 4.2 に示す。

表 4.2 我が国における船舶・航空機排出ガスに関してモデルを使用した
環境中濃度の調査事例と概要

物質	調査名	概要
PM (SO ₂ 、NO ₂)	平成 19 年度 船舶起源の粒子状物質 (PM) の環境影響に関する調査研究報告書(海洋政策研究財団) ⁹	外洋及び数カ所の港湾地域について、CMAQ をベースとした電力中央研究所が開発したモデルを使用して SO ₂ 、NO、NO ₂ 、HNO ₃ 、NH ₃ 、O ₃ 排出量を用いて、大気中濃度を計算。実際の測定局の測定データと計算結果を比較して船舶排ガスの環境中濃度における寄与度を推計。
NO _x	環境省委託調査 平成 8 年度 航空機排出大気汚染物質削減手法検討調査報告書(平成 9 年 3 月、(株)三菱総合研究所)	当該調査の一環として開催された「航空機排出ガス低減対策検討委員会」の委員、横山長之氏が開発したモデルを使用して、空港周辺の NO _x 濃度を推計。
NO _x 、SPM、CO、HC 等	「関西国際空港開港時を含む大阪国際空港周辺の長期大気環境調査の解析」(航空環境研究 No.5、2001,pp.39-50)	空港環境整備協会で開催したモデルを使用して、関西国際空港開港前後空港周辺の大気汚染物質濃度を推計。

⁹ 日本公益図書館 http://npil.canpan.info/report_detail.html?report_id=2328

第5章 大気汚染物質による健康・生態系影響調査手法の調査

5.1 調査の背景・目的

第4章で述べたとおり、北米海域への ECA の設置が合意されたが、この際に、船舶から排出する大気汚染物質の健康及び生態系への影響評価に関する各種の事例が示され、船舶排出による影響ありとの評価結果が示された。

わが国でも、今後 ECA 導入の検討等において船舶排出による影響評価をまとめることとなった場合、北米 ECA にならった大気汚染物質や健康・生態系への影響評価について知見を収集・整理することが必要になることが予想される。

船舶からの排出に限った直接的な影響評価については文献がほとんどないため、本調査では間接的に、船舶排出の大気汚染物質を抽出し、これらの影響評価に関する知見を調査することとする。なお、このような間接的な評価手法は北米 ECA でも採用されたものである。

船舶から排出する大気汚染物質の一部については、これまで中央環境審議会大気環境部会の答申等において文献レビューが実施されてきた。本調査では、こうした文献レビューを踏まえ、知見が比較的蓄積されている分野・されていない分野を提示することにより、今後の課題を抽出することを目的とする。

5.2 調査の手順

調査手順は以下のとおりである。

- ① 船舶から排出される大気汚染物質の抽出
- ② 抽出された物質ごとの、健康及び生態系への影響評価に関する文献の抽出
- ③ 知見の蓄積状況の整理及び今後の課題の抽出

船舶から排出する大気汚染物質は、北米 ECA で影響評価をされた物質等をこれに該当するものとして抽出した。健康・生態系影響の区別ごとに、影響を評価された物質等を表 5.1 に示す。文献の収集は、主に中央環境審議会答申の関連資料及びインターネットで検索された文献等を対象とした(表 5.2。インターネットの検索等については表 5.3 を参照)。これにより収集できた文献を表 5.4 及び表 5.5 に示す。

表 5.1 船舶から排出する大気汚染物質(北米 ECA で挙げられた物質等)

健康・生態系への影響の区別	影響を評価された物質等
健康	大気汚染物質 …PM2.5、SPM、オゾン、SO _x 、NO _x 、ディーゼル排気粒子(DEP))
生態系	<ul style="list-style-type: none"> ● SO_x・NO_x(酸性化の原因物質として) ● NO_x(富栄養化の原因物質として) ● 金属類 …ニッケル、バナジウム、カドミウム、鉄、鉛、銅、亜鉛、アルミニウム ● 多環芳香族炭化水素(PAH) ● オゾン ● 二次生成 PM2.5(かすみの原因物質として)

※ 網がけは、大気環境基準のある物質、大気汚染防止法(大防法)の規制対象物質、又は自動車対策等における対象物質

※ 囲みは、「指針値」のある有害大気汚染物質

表 5.2 調査対象とする文献の種類、情報源

調査対象物質	調査対象とする文献の種類	情報源
大気環境基準等の規制のある物質	大気環境基準等の検討における文献レビュー結果	中央環境審議会 大気環境部会の 答申
	上記以降に公表された研究報告 ※ 日本語のもの	文献・環境省ホームページ、その他 関係するホームページ
	上記以外の物質 (SPM、オゾン、SO _x 、NO _x 、ニッケル、カドミウム、鉛)	公表された研究報告 ※ 2005 年以降、日本語のもの。ただし環境省の成果物は、2005 年以前であっても検索できたものは調査対象とした。
上記以外の物質 (バナジウム、鉄、銅、亜鉛、アルミニウム、PAH)	(同上)	

表 5.3 文献・インターネット検索の概要

検索サイト名等	管理者	文献の検索方法等
1 環境省成果物(調査報告書等)	環境省	環境省成果物一覧で主に次の部局の調査報告書から該当する調査報告書を検索 ● 水・大気環境局大気環境課 ● 環境保健部企画課保健業務室
2 環境保健サーベイランス調査について	環境省総合環境政策局環境保健部企画課保健業務室	環境省ホームページ上のサーベイランス調査結果のページを検索
3 「国立環境研究所特別研究報告」リスト	(独)国立環境研究所	2005年度以降の調査結果から調査対象とした物質名で検索
4 Google scholar	Google	次の条件で検索 ● 検索語;「大気汚染」、「NOx」、「健康」、「影響」、「評価」等 ● 日本語のページを検索 ● 2005年以降 ● 引用部分を含める

注) 検索サイトの URL:

1. <http://www.env.go.jp/guide/library/list.html>
2. <http://www.env.go.jp/chemi/survey/index.html>
3. <http://www.nies.go.jp/kanko/tokubetu/index.html>
4. <http://scholar.google.co.jp/>

表 5.4 収集された文献(健康への影響)

物質	文献名等	注
PM2.5	微小粒子状物質に係る環境基準の設定について(答申)、別添1 微小粒子状物質環境基準専門委員会報告(2009年9月)	1
	大気汚染物質レビュー 環境庁委託業務結果報告書 多環芳香族炭化水素(1984年11月、日本科学技術情報センター)	
DEP	環境汚染物質によるアレルギー疾患の増悪-高濃度、単独毒性評価から低濃度、複合影響評価への視点転換の必要性-(2009年)	2
	経気道曝露化学物質とヒトの健康(2007年)	3
	国立環境研究所特別研究報告(SR-74-2006)概要 「大気中微小粒子状物質(PM2.5)・ディーゼル排気粒子(DEP)等の大気中粒子状物質の動態解明と影響評価プロジェクト(終了報告)」(平成13年~17年度)	4
	ディーゼル排気微粒子リスク評価検討会、平成13年度報告(2002年3月)	5
SPM、NO2、NOx、SO2	大気汚染に係る環境保健サーベイランス調査結果(環境省総合環境政策局環境保健部企画課)(平成8年度から平成20年度調査結果まで公表)	6
	局地的な大気汚染の健康影響に関する調査研究報告書(2005年3月、環境情報科学センター)	
	光化学大気汚染健康影響調査(総括調査)報告書:昭和52~61年度調査報告及び研究総括(1988年3月、日本公衆衛生協会)	
	大気汚染物質レビュー 窒素酸化物(1987年3月、日本科学技術情報センター)	
PM	国立環境研究所特別研究報告 SR-91-2009 都市大気環境中における微小粒子・二次生成物質の影響評価と予測(特別研究)平成18年~20年度	7

- 注 1. <http://www.env.go.jp/council/toshin/t07-h2102.html>
 注 2. 高野 裕久. 環境汚染物質によるアレルギー疾患の増悪：一高濃度, 単独毒性評価から低濃度, 複合影響評価への視点転換の必要性－. 日本衛生学雑誌 2009; 64: 710-714、
http://www.jstage.jst.go.jp/article/jjh/64/3/710/_pdf/-char/ja/
 注 3. 早川 和一, “経気道曝露化学物質とヒトの健康”, 薬学雑誌, Vol. 127, 429-436 (2007)、
http://www.jstage.jst.go.jp/article/yakushi/127/3/127_429/_article/-char/ja
 注 4. 「国立環境研究所特別研究報告」リスト <http://www.nies.go.jp/kanko/tokubetu/sr74/sr74.pdf>
 注 5. <http://www.env.go.jp/air/car/diesel-rep/h13/index.html>
 注 6. 環境保健サーベイランス調査結果 <http://www.env.go.jp/chemi/survey/index.html>
 注 7. 「国立環境研究所特別研究報告」リスト <http://www.nies.go.jp/kanko/tokubetu/sr91/sr91.pdf>

表 5.5 収集された文献(生態系への影響)

物質	文献名等	注
SOx・NOx (酸性化の原因物質として)	丹沢大山における大気化学観測と酸性沈着が森林生態系に及ぼす影響(2009年)	1
	酸性霧の樹冠への沈着と森林衰退(2009年)	2
NOx (酸性化・富栄養化の原因物質として)	地球環境研究総合推進費平成15年度研究成果 中間成果報告集 3(酸性雨等越境大気汚染・海洋汚染(地球規模の化学物質汚染を含む))(2004年、環境省地球環境局研究調査室)	
金属類	汚染物質の生態評価, 野生動物に対する影響解明への適応の試み(2008年)	3

- 注 1. 井川 学, 大河内 博: 丹沢大山における大気化学観測と酸性沈着が森林生態系に及ぼす影響, エアロゾル研究, 24, 97-104 (2009)、http://www.jstage.jst.go.jp/article/jar/24/2/97/_pdf/-char/ja/
 注 2. 井川ら, 酸性霧の樹冠への沈着と森林衰退, 神奈川大学工学研究所所報, 32: 67-76、
<http://klibredb.lib.kanagawa-u.ac.jp/dspace/bitstream/10487/5422/1/67-76%20%E9%85%B8%E6%80%A7%E9%9C%A7%E3%81%AE%E6%A8%B9%E5%86%A0%E3%81%B8%E3%81%AE%E6%B2%88%E7%9D%80%E3%81%A8%E6%A3%AE%E6%9E%97%E8%A1%B0%E9%80%80.pdf>
 注 3. 渡邊 泉. 2008. 汚染物質の生態評価, 野生動物に対する影響解明への適応の試み. 哺乳類科学, 48: 169-174、
http://www.jstage.jst.go.jp/article/mammalian-science/48/1/48_169/_article/-char/ja

5.3 調査の結果

今回収集できた文献から、知見の蓄積状況及び今後の課題を次に整理した。なお、文献ごとの健康・生態系影響に関する評価の概要は別添 1 に付した。(北米 ECA における影響評価項目は別添 2 参照。)

- 健康への影響評価に関する知見では、中央環境審議会で答申された PM2.5 及びディーゼル排気粒子については詳細な文献レビューが実施され、健康影響について一定の評価がなされている。これに対し、NO_x や SO₂ 等の、高度成長期からの大気汚染物質については、1980 年代にまとまった文献レビューが実施されたものの、それ以降のまとまった文献レビューは得ることができなかった。
- また最近の影響評価に関する知見では、低濃度における長期曝露、成分別の影響評価等について今後知見の収集が必要とされていた。
- 生態系への影響評価に関する知見では、酸性化・富栄養化及び金属についていくつかの文献が得られたが、残留性が懸念される炭化水素については情報を得ることができなかった。また北米 ECA では希少生物や敏感な環境系に対する影響評価がなされていたが、日本における影響評価に関しては今回の調査の範囲からは得ることができなかった。
- 本年度の検討会を踏まえ、船舶からの排出物として SO_x や潜在的に排出が懸念される物質として PAH が挙げられた。したがってこれらの物質に関する影響評価を収集することが必要である。
- 他方、今回の調査では、船舶特有の排出物や港湾に近い人口に着目する等、直接的な船舶と健康影響等の関係性を評価した事例は収集できなかった。船舶の影響に特化して評価することは困難である可能性も考えられ、自動車や固定発生源における影響評価を始め多方面の知見を動員する必要があると考えられる。
- なお、本年度の調査はインターネット検索の対象範囲を 2005 年以降の文献とし、主な情報源も環境省成果物や国立環境研究所とする等、試行的なものとなった。今後は調査対象をより広くして更なる知見を収集することが有用であると考えられる。

文献ごとの健康・生態系影響に関する評価の概要を次に整理した。

【健康への影響】

物質等	PM2.5 の健康影響
評価手法	文献レビュー
評価結果・留意事項等	<ul style="list-style-type: none"> ● 疫学知見に基づく微小粒子状物質への曝露と健康影響との関連性については、共存大気汚染物質の影響等、多くの不確実性が存在すると考えられるものの、信頼性の高い研究に着目すると、微小粒子状物質への短期曝露及び長期曝露と循環器・呼吸器疾患死亡、肺がん死亡との関連に関する疫学的証拠には一貫性がみられ、健康影響の原因の一つとなりうるとされた。 ● 微小粒子状物質への短期曝露と循環器系の機能変化及び呼吸器症状・肺機能変化との関連に関しても多くの疫学的証拠があるとされた。 ● また、これらの疫学知見の評価と生物学的妥当性や整合性の検討結果を総合的に評価すると、微小粒子状物質が総体として人々の健康に一定の影響を与えていることは、疫学知見並びに毒性学知見から支持されており、微小粒子状物質への曝露により死亡及びその他の人口集団への健康影響が生ずることには、十分な証拠が存在するとされた。
出典	2009年9月、微小粒子状物質環境基準専門委員会

物質等	PAH の健康影響 (PM2.5 の成分として)
評価手法	文献レビュー
評価結果・留意事項等	<ul style="list-style-type: none"> ● 調査当時、PAH の発がん性に関する研究は主として代謝活性の観点からの実験が行われていたが、PAH は広範囲に分布し呼吸や食事の度に微量ずつ摂取され、PAH が代謝活性化にまわる量はわずかでほとんどが不活性経路にまわると考えられることから、PAH の全代謝経路の解明が必要とされた。 ● 細胞実験や動物実験では発がん性を報告するものが多数収集された。 ● 発がん性の疫学的報告事例では、都市に肺がんが多いかどうか、賛否両論があり、結論を出すには更なる疫学研究が必要とされた。 ● 変異原性については、工業地域・住居地域・農村などの大気汚染の程度と変異誘導能、PAH 含有量と誘導能との関係がよく対応する事例が確認されたとしている。
出典	大気汚染物質レビュー 環境庁委託業務結果報告書 多環芳香族炭化水素 (1984年11月)

物質等	DEP の健康影響
評価手法	動物実験
評価結果・留意事項等	<ul style="list-style-type: none"> ● DEP に含まれる化学物質成分を絞り込むため、DEP に含まれ酸化ストレスの原因となるキノン類が、ナノモラーのレベルというごく低濃度でも、アレルギー存在下に好酸球性気道炎症を増悪し、DEP の増悪作用の一部を担っている可能性があることが示された。ただし、キノンという化学物質単独では DEP のアレルギー増悪影響を全て説明することは困難であり、他の化学物質の重要性も同時に示唆された
出典	高野 裕久. 環境汚染物質によるアレルギー疾患の増悪：一高濃度、単独毒性評価から低濃度、複合影響評価への視点転換の必要性— . 日本衛生学雑誌 2009; 64: 710-714

物質等	DEP の健康影響(内分泌かく乱影響)
評価手法	動物実験
評価結果・留意事項等	<ul style="list-style-type: none"> ● DEP のうち、多環芳香族炭化水素 (PAH) 及びニトロ多環芳香族炭化水素 (NPAH) を金沢市の市街地幹線道路において捕集した ● マウスやラットに DEP を曝露すると、胎仔期における生殖腺分化の抑制や精子生産能の低下が現れたことから、これらの異常は、DEP に含まれる PAH、NPAH の内分泌かく乱作用のためであるとの仮説を提案し、PAH 及び水酸化 PAH のエストロゲン様作用、抗エストロゲン様作用、アンドロゲン様作用、抗アンドロゲン様作用を調べた。 ● エストロゲン受容体に対しては、PAH は内分泌かく乱作用を示さなかったが、水酸化 PAH の中には内分泌かく乱作用を示すものがあつたと報告している。 ● アンドロゲン受容体に対しても、PAH は作用を示さなかったが、水酸化 PAH の中には作用を示すものがあつたと報告している。
出典	早川 和一, “経気道曝露化学物質とヒトの健康”, 薬学雑誌, Vol. 127, 429-436 (2007)

物質等	DEP の健康影響
評価手法	動物実験
評価結果・留意事項等	<ul style="list-style-type: none"> ● DEP は喘息様病態の発症または増悪に関わること、また未熟な抗原提示細胞に作用してその機能を増加させること、その活性は DEP 中の有機成分による酸化ストレスが主な要因である可能性が示唆された。DEP によるアレルギー反応増悪の過程には、酸化ストレスを介した抗原提示細胞の活性化が関係している可能性があることとされた。 ● 1) 低濃度の DEP は血管平滑筋細胞の増殖を促進して、線維芽細胞による組織の線維化を促進することで、血管組織を肥厚させ狭窄が進み血管の可塑性を減少させる可能性があること、2) 血管内皮細胞からの NO の産生を阻害して血管が弛緩しにくくなる可能性があること、3) DEP による細胞障害作用機序として酸化的ストレスが関与していることが示された。組織の線維化と平滑筋細胞の増殖は血管組織以外に気道や細気管支組織でも起こっていると推測された。DEP 抽出物の曝露は血管組織の構造変化と血管内皮細胞の機能阻害を生じさせることで、肺高血圧等の循環器系への負担を増加させている可能性があることとされた。 ● DEP は感染症、あるいはアレルギー疾患などを有する高感受性群において、

	<p>その病態を増悪し得るとされた。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 3-メチル-4-ニトロフェノール PNMC をマウスに投与し、心電図の測定を行い、心拍数の変化を調べた。PNMC 投与により、心拍数の著しい低下が見られ、さらに、交感神経遮断薬および副交感神経遮断薬を用いた実験から、PNMC は、副交感神経系を介して心臓に作用し、心拍数を低下させることが判明したとされた。 ● 1, 3, 6, 9, 12 ヶ月間曝露したラットの異常心電図の出現個体数を測定した。まず、3ヶ月間の亜急性曝露では、DEP 濃度の高い方が異常心電図の発現が高くなる傾向を示したが、9ヶ月曝露では大きな差はなく、12 ヶ月曝露で、低濃度と高濃度で異常心電図の有意な増加が認められた。このことは、長期間曝露で、異常心電図の発現は多くなる傾向を示すが、必ずしも濃度または用量依存的な関係に無いことを示唆しているとされた。 ● 一方、老齢ラットと若齢ラットの1ヶ月間曝露では、明確に、老齢ラットの方が異常心電図の発現が多く、影響を受けやすいことを示唆した。しかし、3mg/m³ の高濃度では老若関係なく影響を受けることを示唆しているとされた。
出典	<p>国立環境研究所特別研究報告(SR-74-2006)概要 「大気中微小粒子状物質(PM2.5)・ディーゼル排気粒子(DEP)等の大気中粒子状物質の動態解明と影響評価プロジェクト(終了報告)」(平成13年～17年度)</p>

物質等	DEP の健康影響
評価手法	文献レビュー
評価結果・留意事項等	<ul style="list-style-type: none"> ● DEP の人に対する発がん性は強く示唆されているが、いき値のない発がん性物質として、健康リスクの定量的評価を試みた。その結果、疫学調査および動物実験のいずれのデータも、人に対する発がんリスクを推定するには不十分であると判断された。 ● 非発がん性の影響に関しては多くの疫学調査が、DEP を含む自動車排ガスを主体とした都市大気汚染の健康影響を示唆しているが、粒子濃度に対する DEP の寄与や濃度の相関などのデータが不足しており、定量的評価を行うに至らなかったとされた。
出典	ディーゼル排気微粒子リスク評価検討会、平成13年度報告(2002年3月)

物質等	SPM、NO ₂ 、NO _x 、SO ₂ の健康影響
評価手法	アンケートによる小児の健康調査(平成 8 年から毎年実施)
評価結果・留意事項等	<ul style="list-style-type: none"> ● 3歳児調査及び6歳児調査における健康調査及び環境調査を実施して、大気汚染物質濃度と喘息等の呼吸器症状有症率との関連性について解析、評価した。 ● SPM については、平成 20 及び 19 年度調査のオッズ比による検討において高濃度の地域ほど喘息有症率(追跡解析にあつては発症率)との優位な関連性が認められた。(それ以前は関連性が認められなかった。) ● 大気汚染濃度の上昇と喘息有症率については、初めて平成 20 年度調査で一部の地域で関連性を示した。(それ以前は関連性が認められなかった。) ● SPM 以外の物質については、喘息との関連性は認められなかった。
出典	大気汚染に係る環境保健サーベイランス調査結果

物質等	NO _x の健康影響
評価手法	被験者測定、文献調査
評価結果・留意事項等	<ul style="list-style-type: none"> ● 平成 11 から 14 年度にかけて収集した児童に対して行った調査データを用いて、呼吸器症状のある群とない群の呼気 NO 濃度を比較した結果、統計学的に有意な差が認められたと報告している。 ● 文献調査の結果では、大気汚染物質と呼気 NO 濃度とが相関する報告がいくつかあったが、その中には測定方法としての妥当性に欠けるものもあった。 ● 東京都町田市の幹線道路近傍に居住する児童 19 名及び成人 8 名を対象として呼気 NO 濃度を測定し、同じ地点で測定された大気汚染物質濃度との関係を調査した。その結果、児童では大気汚染物質濃度が高い時に呼気 NO 濃度も高くなる傾向が見られたと報告している。なお成人は昼間の行動様式が一様でないこと、生活圏が広範であることから、児童と同様の関連性はみられなかったと考察している。
出典	局地的大気汚染の健康影響に関する調査研究報告書(2005 年 3 月)

物質等	光化学二次生成物質の健康影響
評価手法	動物実験、人志願者による実験
評価結果・留意事項等	<ul style="list-style-type: none"> ● スモッグチャンバーで発生させた光化学反応複合体(プロピレン+NO 系)への反応について実験した結果、呼吸数の減少が観測されたと報告している。 ● 炭化水素+NO_x+SO₂ 系に関しては、短期吸入実験で肺重量、肺の抗酸化酵素系、及び病理組織学的所見への影響が観察された。また長期吸入実験では、肺胞壁の肥厚と繊維化が認められたと報告している。 ● 人志願者による実験では、安静下及び間欠的運動下で 2 時間、光化学大気汚染発生時にみられる主要汚染物質の単独及び混合物質を曝露し、自覚症状と肺機能を測定した。その結果 O₃ 単独への間欠的軽運動下で曝露 1 時間目から気道刺激症状がみられ、肺機能への影響は運動量の増加にともない増加したと報告している。O₃ と SO₂ の混合曝露では増強効果が認められ、硫酸塩エアロゾルが形成される可能性が疑われた。
出典	光化学大気汚染健康影響調査(総括調査)報告書：昭和 52～61 年度調査報告及び研究総括(1988 年 3 月)

物質等	NO _x の健康影響
評価手法	文献レビュー
評価結果・留意事項等	<ul style="list-style-type: none"> ● 動物に対しては、呼吸器系の細胞への影響(肺胞上皮の変性・浮腫等)が報告された。 ● 人に及ぼす影響としては、ヒト志願者への 1 回程度、短時間の曝露実験の結果、有意な影響は認められなかった。なお疫学的研究では、大気汚染と呼吸器疾患死亡率や有症率の間に相関が認められたとしているが、NO_x 以外の汚染物質の影響も疑われるとされた。
出典	大気汚染物質レビュー 窒素酸化物(1987年3月)

【生態系への影響】

物質等	酸性霧(HNO ₃ 等)
評価手法	フィールド観測及び実験室における疑似酸性霧曝露実験等
評価結果・留意事項等	<ul style="list-style-type: none"> ● モミ原生林における立ち枯れ、ブナ林の衰退の原因として、二酸化硫黄、オゾン、酸性霧などの大気汚染と病害虫の大量発生が関与することが指摘されてきた。一般的に大気汚染物質の濃度が減少傾向にあるが、1980～1990年代の丹沢山系における森林が衰退している。そこで酸性霧と森林衰退との関連性について検討するため、フィールド観測および実験室におけるブナやモミの苗木へ疑似酸性霧の噴射実験を行った。 ● 樹木の衰退は次のようなプロセスで起こるものと考えられた。 ● 葉への酸性霧の沈着→葉表面ワックスの流亡→細胞壁の糖鎖架橋剤の溶脱→細胞壁の膨潤→生体膜中の mCa の溶脱→ストレス障害の増加→衰退 ● 酸性霧ストレスを樹木に負荷することにより、水分ストレスや低温ストレスを招く可能性を示し、また、植物に有害な大気汚染ガスとして知られる O₃ の感受性を高めていることが明らかとなったとしている。 ● さらに、大山で衰退が観測されるモミと観測されないスギとで樹種間の比較を行った結果、エピクチクラワックスや mCa レベルに著しい樹種間差異が見出されたと報告している。
出典	<ul style="list-style-type: none"> ● 井川 学, 大河内 博: 丹沢大山における大気化学観測と酸性沈着が森林生態系に及ぼす影響, エアロゾル研究, 24, 97-104 (2009) ● 井川ら, 酸性霧の樹冠への沈着と森林衰退, 神奈川大学工学研究所所報, 32: 67-76

物質等	酸性化、富栄養化
評価手法	水質調査
評価結果・留意事項等	<ul style="list-style-type: none"> ● 新潟県の三面川水系、北海道の朱鞠内湖流域、及び関東山地において、酸性汚染物質の陸水に与える影響を調査した。その結果、流紋岩や花崗岩地域では pH が比較的高く、酸緩衝能の低い Ca や Mg が少なく Al が多い三面川地域は潜在的な酸性化の影響を受けていた可能性が示唆された。関東山地ではこれまでに多量の酸性汚染物質が負荷されており、硫黄は土壌層に捕捉されたまま流出しないものの窒素は溪流に流出し河川水中の NO₃ 濃度を高めていると報告された。しかし関東の地質は豊富な Ca や Mg を含むことから、pH は変動していないと考えられた。 ● 酸性化が懸念される三面川では、イワナを調査した。その結果、酸性降下物によるイワナの生息や産卵期の沢への遡上行動も特に阻害されていないと報告

	<p>された。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 富栄養化は多摩丘陵で認められ樹木の葉を繁茂させていると報告された。 ● また、SO₂とO₃への曝露実験では、樹木の種類により影響が発現する割合が異なることが報告された。
出典	地球環境研究総合推進費平成15年度研究成果 中間成果報告集 3(酸性雨等越境大気汚染・海洋汚染(地球規模の化学物質汚染を含む))(2004年)

物質等	金属類
評価手法	疥癬症に感染したハクビシンと健常個体の金属類蓄積調査
評価結果・留意事項等	<ul style="list-style-type: none"> ● 神奈川県で疥癬症に感染したハクビシンは、人為由来の重金属汚染を被った結果、免疫能が減退し、疥癬に感染しやすくなった、もしくは疥癬の感染が有害重金属類の代謝障害を引き起こし、それらを蓄積した可能性が疑われると報告された。また、皮膚の障害が著しい疥癬症の進行は、毛や皮膚の代謝に必要な亜鉛および銅の動員を促し、さらには欠乏状態を引き起こすことで、さらに症状を進行させる可能性も示唆された。
出典	渡邊 泉. 2008. 汚染物質の生態評価, 野生動物に対する影響解明への適応の試み. 哺乳類科学, 48: 169-174

北米 ECA における影響評価項目を次に整理した。

表 5.6 北米 ECA の影響評価項目(健康影響)

物質	主な健康影響
PM	<ul style="list-style-type: none"> ● PM2.5 の短期曝露 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 心肺疾患の早死に、入院及び救急外来、呼吸器症状の増加、肺機能の低下、生理学的の変化、心臓の変化を示す生体指標。 ➢ 新生児の低体重、早産、妊婦の死亡率及び幼児死亡率等 ● PM10 の短期曝露 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 循環器疾患による入院患者数 ● PM2.5 の長期曝露 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 循環器疾患及び肺がんによる早死に、肺機能の低下、慢性呼吸器疾患の進行、アテローム性動脈硬化症、頸動脈内膜中膜厚(CIMT)
オゾン	<ul style="list-style-type: none"> ● 肺機能の低下、呼吸器症状、喘息の悪化、入院患者数及び救急外来数の増加、喘息薬使用量の増加、肺の炎症 ● 循環器疾患とオゾンの因果関係、及び循環器症状に関連した死亡率と短期曝露との因果関係が懸念される ● 特に子供、喘息患者、高齢者及び屋外で長い時間を過ごす人々への影響が懸念される ● 反復曝露による肺の炎症、肺の防御機能の障害、肺の構造への不可逆的变化、肺気腫及び慢性気管支炎 ● 低濃度オゾンへの曝露による肺機能の低下、呼吸器症状の悪化、胸の痛み、咳等
SO _x	<ul style="list-style-type: none"> ● SO₂ の短期曝露 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 気管支収縮、粘液分泌、粘液腺拡張、咳、無呼吸及び浅く早い呼吸 ➢ 喘息の悪化、肺機能の低下、呼吸器症状による入院患者数及び救急外来患者数の増加 ➢ 呼吸器症状による死亡が懸念される
NO _x	<ul style="list-style-type: none"> ● NO₂ の短期曝露 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 入院患者数及び救急外来患者数の増加、肺機能の低下、肺の炎症、喘息の悪化 ➢ 循環器症状による入院患者数及び救急外来数の増加、 ● 長期曝露 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 肺機能の低下、肺機能の低発達
DEP	肺がん、その他 PM と同様の影響、免疫機能障害(喘息様の呼吸、アレルギー反応)

表 5.7 北米 ECA の影響評価項目 (生態系への影響)

物質	主な環境影響
SO _x ・ NO _x	<ul style="list-style-type: none"> ● 酸性化 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 森林での一部の植物の減少、魚類・プランクトン・無脊椎動物の生物多様性の喪失、その他希少動物や山岳等の敏感な環境に生息する生物の衰弱 ● 富栄養化 <ul style="list-style-type: none"> ➢ コケ等の原産種の減少、森林・草原・山岳地帯の生物多様性の変化、湿地・淡水・海洋での水生生物の生物多様性の変化 ● 水銀化合物 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 硫黄分解バクテリアへの影響により、メチル水銀の摂取量・水銀の生物蓄積量が増加
PM	<ul style="list-style-type: none"> ● PM2.5 に含まれるニッケル、バナジウム、カドミウム、鉄、鉛、銅、亜鉛及びアルミニウム <ul style="list-style-type: none"> ➢ 植物における金属類の蓄積、食物連鎖による濃縮、森林の減衰 ● 多環芳香族炭化水素 (PAH) <ul style="list-style-type: none"> ➢ 底質・海岸への蓄積、魚類の発がん、底質に生息・底質を摂取する生物への毒性、食物連鎖による生物蓄積 <p>※NO_x、SO_x については上記</p>
オゾン	<ul style="list-style-type: none"> ● 気孔から侵入して葉を弱らせる ● 反復曝露による局地的な森林破壊、レタスや綿花等の作物への収穫量の減少
PM2.5 ・ NO _x	<ul style="list-style-type: none"> ● 二次生成 PM2.5 による霞の発生

出典: Proposal to Designate an Emission Control Area for Nitrogen Oxides, Sulfur Oxides and Particulate Matter Technical Support Document Chapter 3 Impacts of Shipping Emissions on Air Quality, Health and the Environment (April 2009, EPA) (<http://www.epa.gov/otaq/regs/nonroad/marine/ci/420r09007-chap3.pdf>)

第6章 船舶・航空機排出大気汚染物質削減国際動向調査

船舶に関する排出大気汚染物質削減の国際動向として、主に「1973年の船舶による汚染の防止のための国際条約に関する1978年の議定書」(マルポール条約)附属書VIで規定された排出基準等に注目するとともに、同条約の事務局である国際海事機関(IMO)の動向を整理した。航空機に関する国際動向としては、主に「国際民間航空条約」(シカゴ条約)で規定された排出基準とシカゴ条約の事務局である国際民間航空機関(International Civil Aviation Organization:ICAO)の動向を整理した。さらに一般的な海域に適用される排出基準より厳しい規制を適用している海域の事例を収集・整理した。

6.1 船舶の排出基準等(マルポール条約附属書VI)

船舶の排出ガスに係る国際基準はマルポール条約附属書VIで規定されている。この条約は国際海事機関(IMO)が事務局であり、条約を改正する議定書はIMOの国際会合で採択される。採択された議定書は、15カ国以上であってその商船船腹量の50%以上となる国々が締約国となった日の1年後に発効する。

船舶排出に関する最新の基準は2008年10月に採択され、2010年7月発効した。船舶排ガス基準の主な経緯を次に示す。

時期	内容	採択・発効
1997年	<ul style="list-style-type: none"> ● マルポール条約に附属書IV(船舶からの大気汚染の防止のための規則)を追加 ● NO_x基準(Tier I):2000年以降に建造される船舶に搭載され、又は同日以降に主要な改造が行われる船舶に搭載される出力130kW以上のディーゼルエンジンに適用 ● SO_x基準:燃料油中の硫黄分濃度の上限値を規制(SO_x放出規制海域には、より厳しい規制を課す) 	1997年9月 ・2005年5月
2008年改正	<ul style="list-style-type: none"> ● NO_x基準(Tier II):2011年以降に建造される船舶に搭載される出力130kW以上のディーゼルエンジンに適用 ● NO_x基準(Tier III):2016年以降に建造される船舶に搭載される出力130kW以上のディーゼルエンジンに適用(放出規制海域に限る) ● 現存船に対するNO_x基準(Tier I):1990年以降建造の現存船のシリンダー容積90L以上かつ出力5000kW以上のディーゼルエンジンに適用 ● SO_x基準:燃料油中の硫黄分濃度の規制を段階的に強化 	2008年10月 ・2010年7月以降随時

船舶に対する基準には、排ガスの基準及び燃料規制がある。また、排ガス及び燃料規制は一般的な海域において適用されるが、特定の海域についてより厳しい基準を適用できる「放出規制海域」(ECA)が指定されている。

6.1.1 エンジンの排出ガス基準 (NO_x 規制)

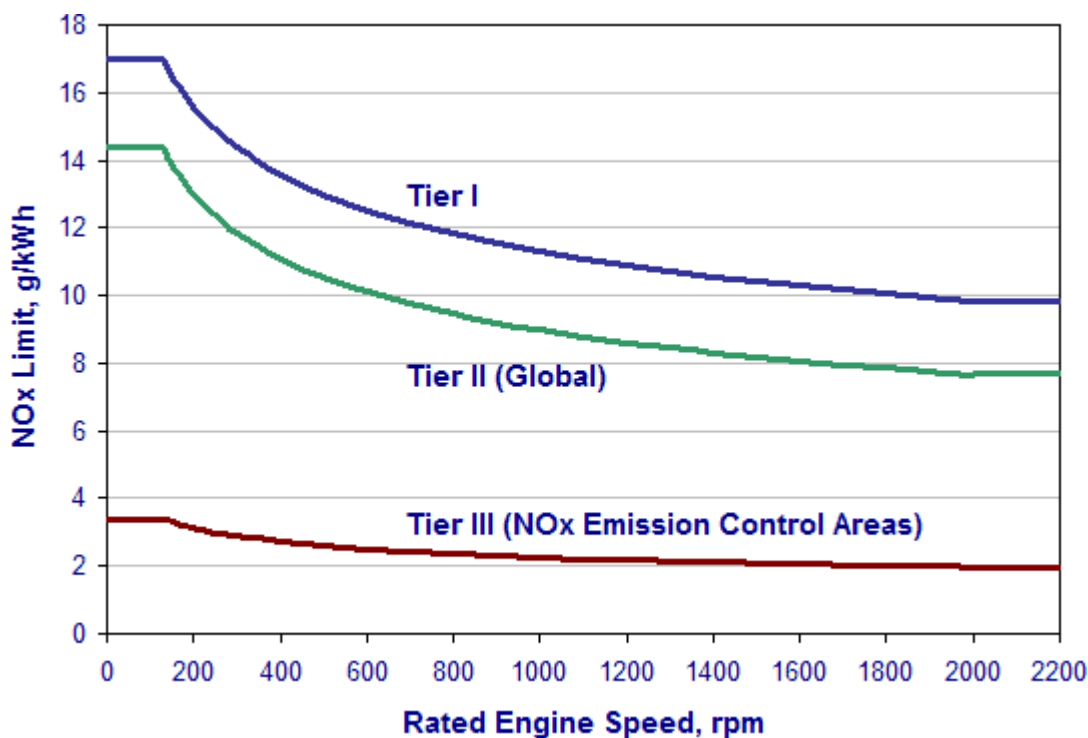
マルポール条約附属書 VI の窒素酸化物 (NO_x) 排出基準を表 6.1 及び図 6.1 に示す。

表 6.1 マルポール条約附属書 VI の窒素酸化物 (NO_x) 排出基準

Tier	発効時期	NO _x 規制値 (g/kWh)		
		n<130	130 ≤ n < 2000	2000 ≤ n
Tier I	2000 年	17.0	45·n ^{-0.2}	9.8
Tier II	2011 年	14.4	44·n ^{-0.23}	7.7
Tier III	2016 年 (注)	3.4	9·n ^{-0.2}	2.0

注: Tier III は NO_x 放出規制海域 (ECA) に限り適用。「n」は定格出力の回転数 (rpm)

2012 年から 2013 年末までの間に Tier III を実施するための技術開発の状況をレビューし、必要により基準の実施時期を調整する。



出典: Dieselnets (<http://www.dieselnets.com/standards/inter/imo.php>)

図 6.1 エンジン定格出力 (rpm) ごとのマルポール条約附属書 VI の NO_x 排出基準

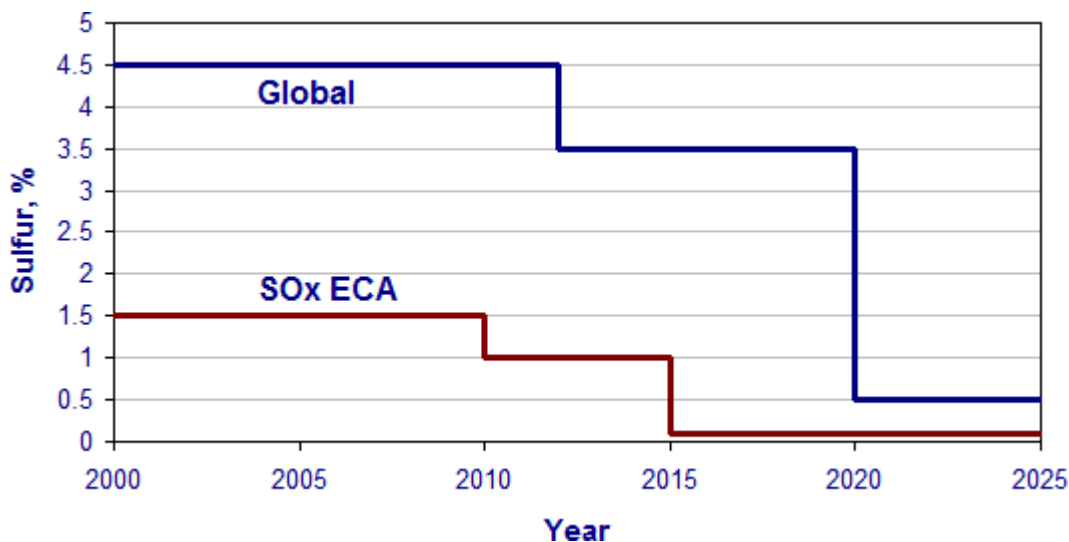
6.1.2 燃料基準(SO_x 及び PM 規制)

マルポール条約附属書 VI の燃料油中の硫黄分濃度基準を表 6.2 及び図 6.2 に示す。燃料規制は主に主に SO_x 及び PM の排出低減を目的としている。

表 6.2 マルポール条約附属書 VI の燃料油中の硫黄分濃度基準

発効時期	燃料油中硫黄分濃度の上限値 (%m/m)	
	一般海域	放出規制海域
2000 年	4.5%	1.5%
2010 年 7 月		1.0%
2012 年	3.5%	0.1%
2015 年		
2020(注)	0.5%	

注: 又は 2025 年(2018 年レビューで決定される予定)



出典: Dieselnet (<http://www.dieselnet.com/standards/inter/imo.php>)

図 6.2 マルポール条約附属書 VI の燃料油中の硫黄分濃度基準

6.1.3 既設の放出規制海域(ECA)

現時点で、マルポール条約では次に示す 3 つの ECA が指定されている。

表 6.3 マルポール条約における ECA

放出規制海域	低減の対象とする物質	採択・発効時期(年)
バルト海	SO _x	1997・2005
北海	SO _x	2005・2006
北米海域	NO _x 、SO _x 及び PM	2010・2012

6.2 航空機の排出基準（国際民間航空条約附属書 16）

6.2.1 エンジンの排出ガス基準

航空機の排出ガスに係る国際基準は「国際民間航空条約」（シカゴ条約）附属書 16 第 2 巻で規定されている。対象とする排出物質は窒素酸化物（NO_x）、一酸化炭素（CO）、炭化水素（HC）及び煤煙（Smoke）、規制対象とする範囲は LTO サイクルである。

NO_x 基準は 1981 年導入開始から段階的に厳しい基準を導入し、第 8 回大気環境保護委員会（CAEP/8）（2010 年 2 月）で NO_x の新基準が合意された（2013 年末に発効予定）。シカゴ条約による航空機のエンジンの排出ガス基準における、亜音速航空機に対する基準を表 6.4 及び表 6.5 に、また超音速航空機に対する基準を表 6.6 に示す。

表 6.4 エンジンの排出ガス基準（亜音速航空機）

物質	基準値
煤煙(Smoke) ^{※1}	$83.6(F_{00})^{-0.274}$ 又は 50 (単位 無次元)のいずれか低い数値以下 F ₀₀ :当該エンジンの定格出力(kN)
炭化水素(HC) ^{※2}	19.6(g/kN)以下
一酸化炭素(CO) ^{※2}	118(g/kN)以下

※1 1983 年 1 月 1 日以降製造のエンジンに適用

※2 定格出力が 26.7kN を超えかつ 1986 年 1 月 1 日以降製造のエンジンに適用

表 6.5 エンジンの排出ガス窒素酸化物(NO_x)基準（亜音速航空機）

当該型式の最初のエンジンの製造(年月日)	当該エンジンの製造(年月日)	エンジン圧縮比(π_{00})	定格出力(F ₀₀)	基準値(g/kN)
a) ~ 1995.12.31	1986.1.1~ 1999.12.31	全て	$26.7\text{kN} < F_{00}$	$40 + 2 \times \pi_{00}$ 以下
b) 1996.1.1~	2000.1.1~	全て	$26.7\text{kN} < F_{00}$	$32 + 1.6 \times \pi_{00}$ 以下
c) 2004.1.1~	全て	1) $\pi_{00} < 30$	i) $89.0\text{kN} \leq F_{00}$	$19 + 1.6 \times \pi_{00}$ 以下
			ii) $26.7\text{kN} \leq F_{00} < 89.0\text{kN}$	$37.572 + 1.6 \times \pi_{00} - 0.2087 \times F_{00}$ 以下
		2) $30 \leq \pi_{00} < 62.5$	i) $89.0\text{kN} \leq F_{00}$	$7 + 2.0 \times \pi_{00}$ 以下
		ii) $26.7\text{kN} \leq F_{00} < 89.0\text{kN}$	$42.71 + 1.4286 \times \pi_{00} - 0.4013 \times F_{00} + 0.00642 \times \pi_{00} \times F_{00}$ 以下	
		3) $\pi_{00} \leq 62.5$	全て	$32 + 1.6 \times \pi_{00}$ 以下
d) 2008.1.1~	全て	1) $\pi_{00} < 30$	i) $89.0\text{kN} \leq F_{00}$	$16.72 + (1.4080 \times \pi_{00})$
			ii) $26.7\text{kN} \leq F_{00} < 89.0\text{kN}$	$38.5486 + (1.6823 \times \pi_{00}) - (0.2453 \times F_{00}) - (0.00308 \times \pi_{00} \times F_{00})$ 以下
		2) $30 \leq \pi_{00} < 82.6$	i) $89.0\text{kN} \leq F_{00}$	$-1.04 + (2.0 \times \pi_{00})$
ii) $26.7\text{kN} \leq F_{00} < 89.0\text{kN}$	$46.1600 + (1.4286 \times \pi_{00}) - (0.5303 \times F_{00}) + (0.00642 \times \pi_{00} \times F_{00})$ 以下			
		3) $\pi_{00} \leq 82.6$	全て	$32 + 1.6 \times \pi_{00}$ 以下

表 6.6 エンジンの排出ガス基準(超音速航空機)

物質	基準値
煤煙(Smoke)	$83.6(F_{00})^{-0.274}$ 又は 50 (単位 無次元)のいずれか低い数値以下 F_{00} :当該エンジンの定格出力(kN)
炭化水素(HC)	$140 \times (0.92)^{\pi_{00}}$ (g/kN) 以下 π_{00} :当該エンジンの圧縮比
一酸化炭素(CO)	$4550 \times (\pi_{00})^{-1.03}$ (g/kN) 以下 π_{00} :当該エンジンの圧縮比
窒素酸化物(NOx)	$36 + 2.42 \times \pi_{00}$ (g/kN) 以下 π_{00} :当該エンジンの圧縮比

※ 1982年2月18日以降製造のエンジンに適用

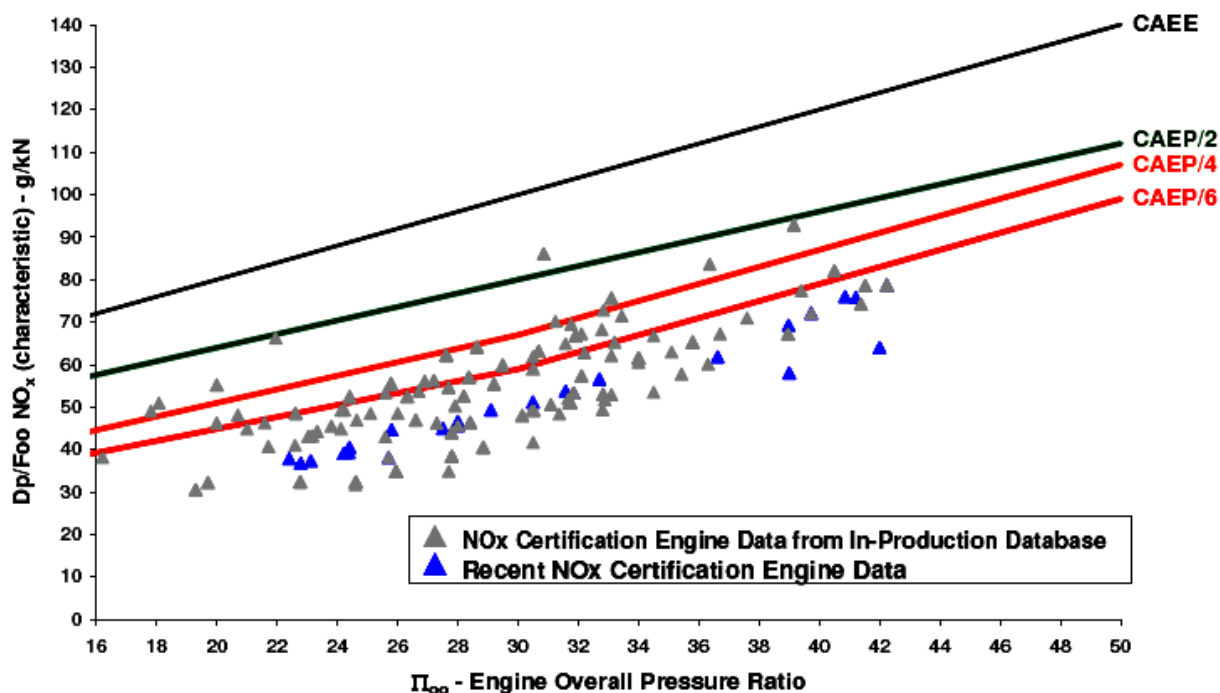
6.2.2 技術動向

NOx の段階的な排出基準は、排出量削減率で表した目標に基づき設定されてきた(表 6.7)。また、エンジン型式認証データ(図 6.3)では、最近のエンジンがCAEP6 基準を達成していることが示されている。

表 6.7 ICAO における NOx の段階的な排出基準

基準	合意年	目標削減率
CAEP/2	1996	CAFE の 20%
CAEP/4	2004	CAEP/2 の 16%
CAEP/6	2008	CAEP/4 の 12%
CAEP/8	2010	中期目標(2016年まで)・・・CAEP/6 の 45%±2.5% (エンジン圧縮比が 30 の場合)
		長期目標(2026年まで)・・・CAEP/6 の 60%±5% (エンジン圧縮比が 30 の場合)

出典: ICAO ホームページ(<http://www.icao.int/env/TechnologyStandards.htm>)



注: x 軸は圧縮比、y 軸は排出量 (g/kN)。2010 年合意の最新基準は未掲載。

出典: "Report of the independent experts on the LTTG NOx review and medium and long term technology goals for NOx", 2008, ICAO (ICAO Doc 9887)

図 6.3 NOx 排出基準の推移と型式認証における NOx 値(全圧縮比)

6.2.3 国内制度

上記の船舶排出及び航空機排ガスに関する国際基準は国内法化されている。

表 6.8 船舶排出及び航空機排ガスに関する国際基準に対応する国内法

国際基準	国内法
船舶の排出ガス基準	「海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律」第4章の3 (第19条の3～第19条の25) 船舶からの排出ガスの放出の規制
	「海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律施行令」 (第11条の7) 窒素酸化物の放出量に係る放出基準 (第11条の10・11) 燃料油の品質の基準等
航空機のエンジン排出基準	「航空法」 (第10条の4) 耐空証明
	航空法施行規則附属書第3 (第14条関係) 航空機の発動機の排出物の基準

6.3 船舶及び航空機からの排ガス規制等に関する IMO 及び ICAO の最近の動向

6.3.1 IMO の動向

IMO における現時点での大気汚染物質排出低減及び温室効果ガス対策のための政策としては下記を挙げることができる。

① 一般的な海域における排ガス規制及び燃料規制

附属書 VI は 2006 年 4 月より見直し作業が行われ、2008 年 10 月の第 58 回海洋環境保護委員会 (MEPC58) において改正附属書 VI が採択された (発効は 2010 年 7 月 1 日)。なお、詳細な規制内容は 6.1 を参照。

② 特定の放出規制海域 (ECA) における排ガス規制及び燃料規制

マルポール条約では、特定の海域を設定して、一般海域の基準よりも厳しい排出基準を適用することができる。これまで、バルト海及び北海それぞれ 2005 年及び 2006 年から放出規制 (燃料油中硫黄分濃度規制) 海域となっている。2010 年 3 月の IMO 国際会合では、燃料油中硫黄分濃度及び窒素酸化物排出 (Tier III) を規制する北米海域の指定が採択され、2012 年に発行予定となっている。なお、詳細な規制内容は 6.4.1 を参照。

③ NO_x テクニカルコード

附属書 VI で定められる NO_x 排出規制に適合するためのエンジンの技術基準、基準適合の確認方法について、NO_x テクニカルコードが定められている。将来の NO_x 排出規制を達成するための有力な方法として、選択触媒還元 (SCR) をエンジンに付加する方法があるが、現在の NO_x テクニカルコードでは、NO_x 低減装置をエンジンに付加した状態で NO_x 放出量を試験することとされている一方、大型エンジンの場合には SCR を付加した状態での試験は事実上困難である。

これに関連して、ばら積み液体貨物・ガス小委員会 (BLG) において、エンジンと SCR を分離して別々に試験できるよう NO_x テクニカルコードの改正が審議されている。2011 年 2 月の BLG15 において、エンジンと SCR を分離して行う試験の認証ガイドラインが最終化された。また、このような認証の導入を前提とした NO_x テクニカルコードの改正案については、船上計測の要否及び ECA に入域する場合の SCR 作動モニタリングの要否について意見が分かれたため、引き続き MEPC62 (2011 年 7 月予定) で審議されることとなった。

④ 温室効果ガス (GHG)

気候変動枠組条約京都議定書は、国際海運については、国際航空とともに専門の国際機関 (IMO、ICAO) を通じた作業によって GHG 排出量の抑制を追求することとされている。IMO では、船舶の効率改善として、技術的手法 (効率の優れた新造船の使用) 及び運行的手法 (既存船が燃料消費削減のため最適な運行方法) を推進するため、次の取組を行ってきた。

【新造船の効率指標の策定】

一定の条件で 1 トンの貨物を 1 マイル運ぶのに伴う CO₂ 排出量予測に基づく指標の整備

【既存船の効率的な運航方法を支援する管理計画の策定】

計画、実施、モニタリング、評価及び改善というサイクルを継続的に実施するための管理計画の策定

2010年3月に開催されたMEPC60において、上①の新造船の効率指標を審議するための作業部会が設置され、審議の結果、新造船の効率指標及び既存船の効率的な運航法を支援する管理計画を強制化する附属書VI改正条文(案)が作成された。続く2010年9月のMEPC61において、新造船の効率指標を船種及び船級ごとに段階的に強制化するパッケージの概略が合意された。また既存船の効率的な運航法を支援する管理計画を義務化する附属書VI改正案が作成され、次回MEPC62(2011年7月予定)へ送られることとなった。

出典：IMOに関する記述の主な出典は次のとおり

IMO(<http://www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Default.aspx>)

国土交通省(<http://www.mlit.go.jp/maritime/imo/schedule.html>)

6.3.2 ICAOの動向

航空機に関する環境負荷低減のための国際的な合意形成はICAOで行われており、2004年のICAO総会で次に示す主要な環境政策が採択された。

- a. 航空機騒音対策
- b. 空港周辺大気環境への排ガス対策
- c. 温室効果ガス(GHG)対策

以下、本調査が対象とする、排ガスとGHGに関する対策の最新動向について整理した。

① 第37回ICAO総会(2010年9月)

この会合で、「環境保護に関する継続的方針及び活動のとりまとめ文書」(A Consolidated Statement of continuing policies and practices related to environmental protection)が採択され、以後3年間の環境政策が正式に決められた。この文書のうち、排ガスとGHGに関する主な内容を次に示す。

環境保護に関する継続的方針及び活動のとりまとめ文書 - 全体的な規定、騒音及び周辺大気別添B; 大気環境に関する基準、奨励する施策及び手順、及び/又はガイダンスの整備
(Resolution A37-18: Consolidated statement of continuing ICAO policies and practices related to environmental protection - General provisions, noise and local air quality
Appendix B Development of Standards, Recommended Practices and Procedures and/or guidance material relating to the quality of the environment)

- NOx 排出基準の厳格化(2013年未までにCAEP/8基準を導入、2012年未までにCAEP/6基準未達成エンジンの製造停止)
 - CO2 排出基準の整備
 - NOx 排出に関する中長期的技術目標の実現
- 別添H; 周辺大気への影響(Appendix H - Aviation impact on local air quality)
- 非揮発性PM排出基準の整備、同時に揮発性・非揮発性PM排出に関する科学技術的モニタリングの継続
 - 排ガス低減と温室効果ガス低減の背反関係に留意
 - 周辺大気環境への影響低減のための運行上及び航空交通の向上の推進
 - 周辺大気環境への影響低減のための加盟国による自主的施策の奨励
 - 2011年内の空港大気環境ガイダンス(Airport Air Quality guidance)の完成
 - 排ガスに対する課金制度について、実績や知見の共有、及び課金制度に関するポリシー及びガイダンス(guidance on emission charges)の準拠

環境保護に関する継続の方針及び活動のとりまとめ文書 - 気候変動

Resolution A37-19: Consolidated statement of continuing ICAO policies and practices related to environmental protection - Climate change

- 世界全体の国際航空で 2020 年までに燃料消費効率を 2%向上、2021 年から 2050 年にかけて毎年 2%向上(ただし加盟国の義務とはしない)
- 世界全体の国際航空で 2020 年以降は総炭素排出量を増加させないこと(ただし加盟国の義務とはしない)
- 加盟国による国際航空の CO2 排出に関する行動計画と年次報告のとりまとめと共有化
- 次回第 38 回 ICAO 総会で審議するために市場に基づく施策 (Market-based Measures: MBM) の枠組みを整備するための作業に着手
- 上記枠組みは、市場に基づく施策に関する基本方針に準拠するものとする
- 2013 年を目標に航空機の CO2 世界基準を整備
- 中長期的な航空機の燃料消費に関する技術的及び運用上の目標を整備
- 国際航空からの温室効果ガスの排出量推計を向上

出典:

Resolution A37-18: Consolidated statement of continuing ICAO policies and practices related to environmental protection - General provisions, noise and local air quality (http://www.icao.int/icao/en/env2010/A37_Res18_en.pdf)

Resolution A37-19: Consolidated statement of continuing ICAO policies and practices related to environmental protection - Climate change (http://www.icao.int/icao/en/env2010/A37_Res19_en.pdf)

② 航空環境保全委員会 (Committee on Aviation Environmental Protection : CAEP)

CAEP は環境に関する施策を調整する委員会である。上記の第 37 回 ICAO 総会に先立ち 2010 年 2 月に CAEP/8 が開催された。この委員会の主な動向は次のとおり。

- NO_x について新たな CAEP/8 基準に合意。2013 年末に発効としている(詳細は6.2 参照)
- 従来の基準(CAEP/6)未達成エンジンの製造を停止することに合意。2012 年末に発効としている
- CO₂ 排出基準の整備に着手。次回 CAEP/9 (2013 年)での審議を目標としている
- PM については、非揮発性 PM にまずは着手することに合意。2013 年までに認証要件の策定、2016 年までに認証基準値の策定を目標としている。
- 燃費向上のための知見ととりまとめのためのワークショップ (workshop to consolidate the knowledge base for fuel burn improvements) (2010 年 5 月)では、航空機の軽量化、航空力学的な向上、燃費向上、航空機システムの最適化による燃費向上に関する見直し作業が行われた。次回 CAEP/9 (2013 年)において、ワークショップの結果報告及び燃料消費量低減技術に関する中長期目標が審議される予定。

出典: ICAO (<http://www.icao.int/icao/en/Env2010/TechnologyStandards.htm>)

③ 国際航空と気候変動に関する作業部会 (Group on International Aviation and Climate Change : GIACC)

GIACC は気候変動に関する施策を調整する、CAEP とは別途設立された作業部会である。上記の第 37 回 ICAO 総会に先立ち 2009 年 10 月に行動計画 (Programme of Action) を採択した。この行動計画の主な内容は次のとおり。

- 2050 年にかけて世界的な燃料効率を毎年 2% 向上
- 航空機の CO₂ 世界基準を整備
- 国際航空における市場に基づく施策の枠組みを整備
- 航空燃料消費に関する加盟国の活動計画の収集及びとりまとめ

出典: ICAO (<http://www.icao.int/icao/en/Env2010/TechnologyStandards.htm>)

6.4 海域を限定した船舶の放出規制海域

6.4.1 北米 ECA

① ECA の設置に関する過程について

マルポール条約附属書 VI に基づき、特定の海域を設定して、一般海域の基準よりも厳しい排出基準を適用することができる。同附属書 VI 付録 III において、船舶からの硫黄酸化物 (SO_x)、粒子状物質 (PM) 及び窒素酸化物 (NO_x) の放出規制海域を指定するための提案についての基準 (クライテリア) を規定している。IMO に提出する ECA の提案書には、以下に示すクライテリアを満足している必要がある。

これまで 3 つの ECA (バルト海、北海及び北米海域) が設置されてきた。最も新しい北米海域 ECA は 2010 年 3 月に採択され、発効予定は 2012 年である。

- (1) 海域の範囲
- (2) 規制の対象物質
NO_x、SO_x、PM、又はこれら 3 種の排出
- (3) 船舶からの排出の影響による危険に曝されている住民並びに陸地及び水域の説明
- (4) 船舶からの排出がもたらす環境影響評価
 - ・船舶からの排出が、大気汚染の環境濃度を進行させることについての評価、また、人の健康、生態系 (陸域、水域)、自然の生産性、危機的な状態にある生息域、水質、人の健康並びに文化的・科学的に重要な地域への悪影響についての説明
 - ・使用した方法などの関連情報の出所の特定
- (5) 大気汚染の環境濃度と環境への悪影響を一層高める要因の情報
 - ・気象条件 (特に、卓越風のパターン)
 - ・地形学的、地理学的、海洋学的、形態学的な要因
- (6) 指定海域での船舶交通の性質 (特性とふくそう状況)
- (7) 陸上排出源に関する規制措置
- (8) 陸上規制に比較しての船舶規制の相対的な費用と国際航海に従事する船舶への経済的影響

出典:「平成21年度船舶排出大気汚染物質削減技術検討調査報告書」(平成 22 年 3 月、マリンエンジニアリング学会)P.32-33

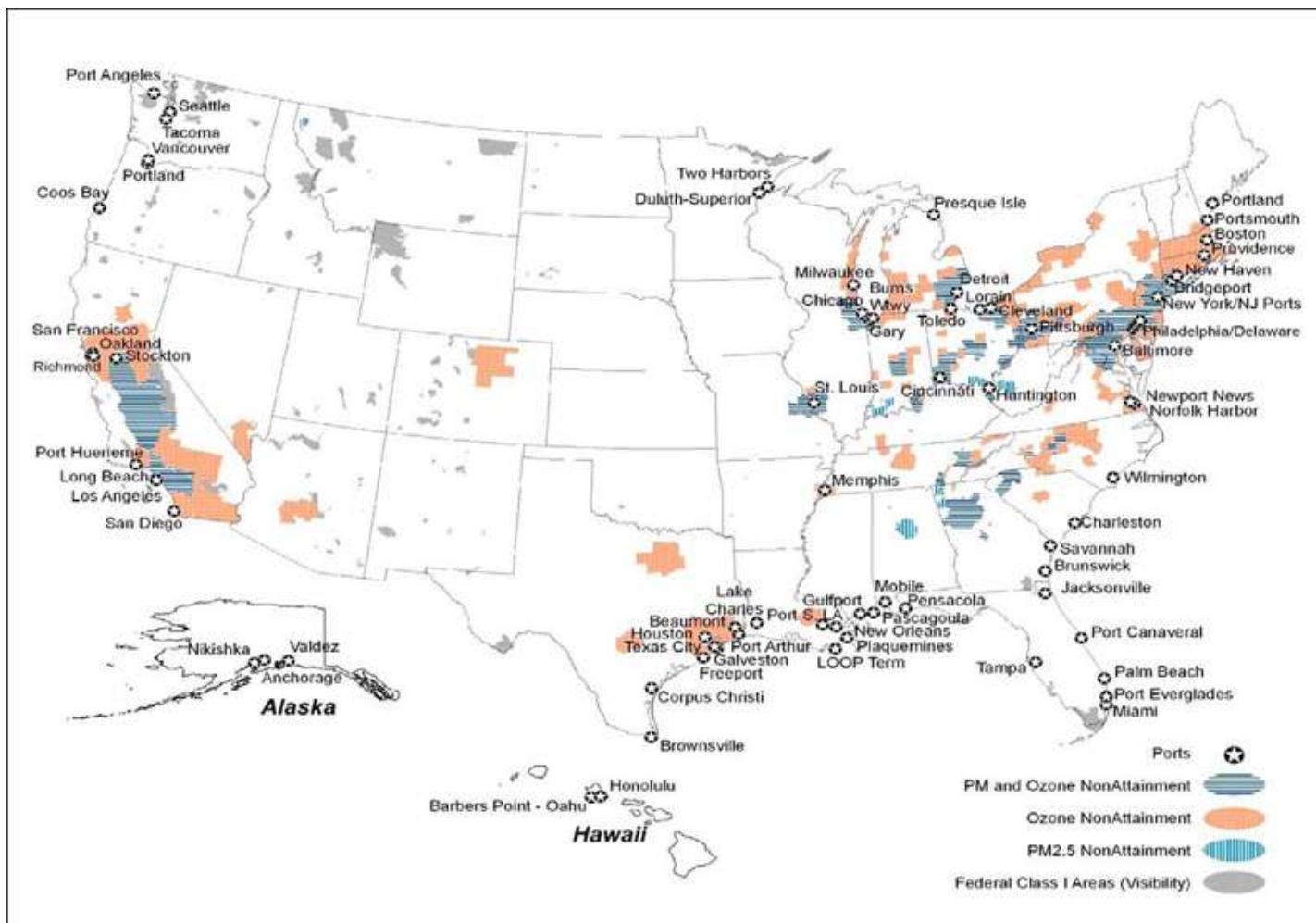
② 北米 ECA の概要

北米 ECA は、米国、カナダ及びフランスにより提案され、2010 年 3 月 26 日に IMO 国際会合で採択された(発効予定は 2012 年 8 月)。北米 ECA の提案書の概要を次に示す。

北米 ECA 提案書の概要	
1. 海域	● 太平洋岸、大西洋及びメキシコ湾沿岸、及びハワイ諸島主要 8 島から 200 海里
2. 大気汚染物質	● NO _x 、SO _x 、及び PM
3. リスク対象の特定 (図 4、図 5)	<ul style="list-style-type: none"> ● 2010 年現在、太平洋岸、メキシコ湾岸及び大西洋岸に位置する主要な港の 40 以上がオゾン及び PM2.5 基準を達成できておらず、米国では人口の 53%、カナダでは 60%が沿岸域に居住 ● 内陸の大気環境濃度基準未達成地域(ネバダ州、テネシー州及びペンシルバニア州)でも改善が期待される ● 国立公園における視界
4. 影響評価	<ul style="list-style-type: none"> ● 排出インベントリの作成 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 基準年インベントリ(2002 年) ➢ 将来予測①:ECA 導入シナリオ排出インベントリ(2020 年予測) ➢ 将来予測②:ECA 導入なしシナリオ排出インベントリ(2020 年予測) ● 排出インベントリ予測のシナリオ間比較評価 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 2010 年から 2030 年の 20 年間で、NO_x 及び PM2.5 の船舶からの排出量がそれぞれ 2 倍以上、ほぼ 3 倍になる予測(追加対策なしの場合) ● 視界、O_x への曝露、富栄養化、酸性雨、森林バイオマスの喪失、及び全体的な森林の健康を指標とする生態系への影響評価 ● 大気汚染物質の化合物の堆積や水銀等ほかの有害物質との化学反応物の挙動分析
4. 影響評価	<ul style="list-style-type: none"> ● 健康影響関数、人口予測等を組み込んだ健康影響評価モデルによる分析 <ul style="list-style-type: none"> ➢ ECA 導入により、ECAを導入しない場合と比較して 2020 年で年間1万4千人の早死、年間5百万人近くの急性呼吸器疾患が軽減できると試算されている
5. 気象・地形等の要因	● 船舶から排出される大気汚染物質に影響を与える気象特性等
6. 船舶交通の特性等	● 提案エリア内における船舶位置データ等
7. 陸上発生源対策	● 陸上発生源対策による削減効果
8. コスト	<ul style="list-style-type: none"> ● ECA を導入せず、追加的な地上発生源対策で代替した場合の費用予測 ● 国際貿易に従事する海運事業者にとっての運行費用の上昇額等

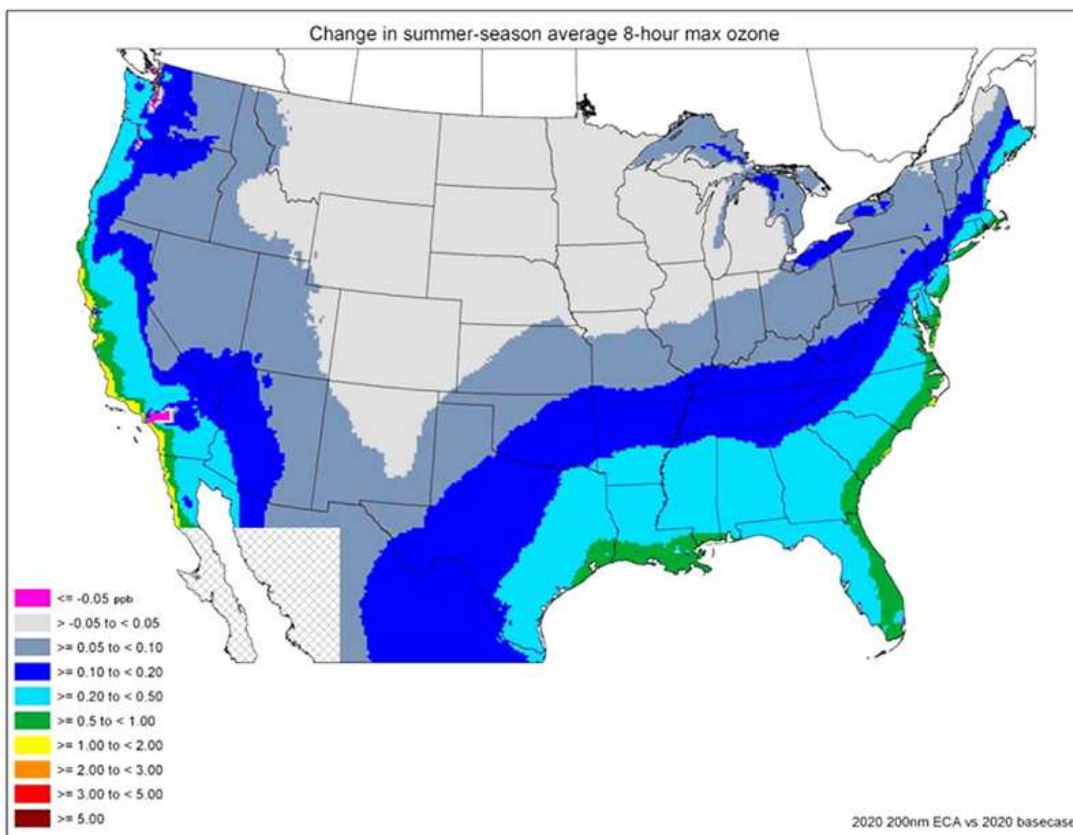
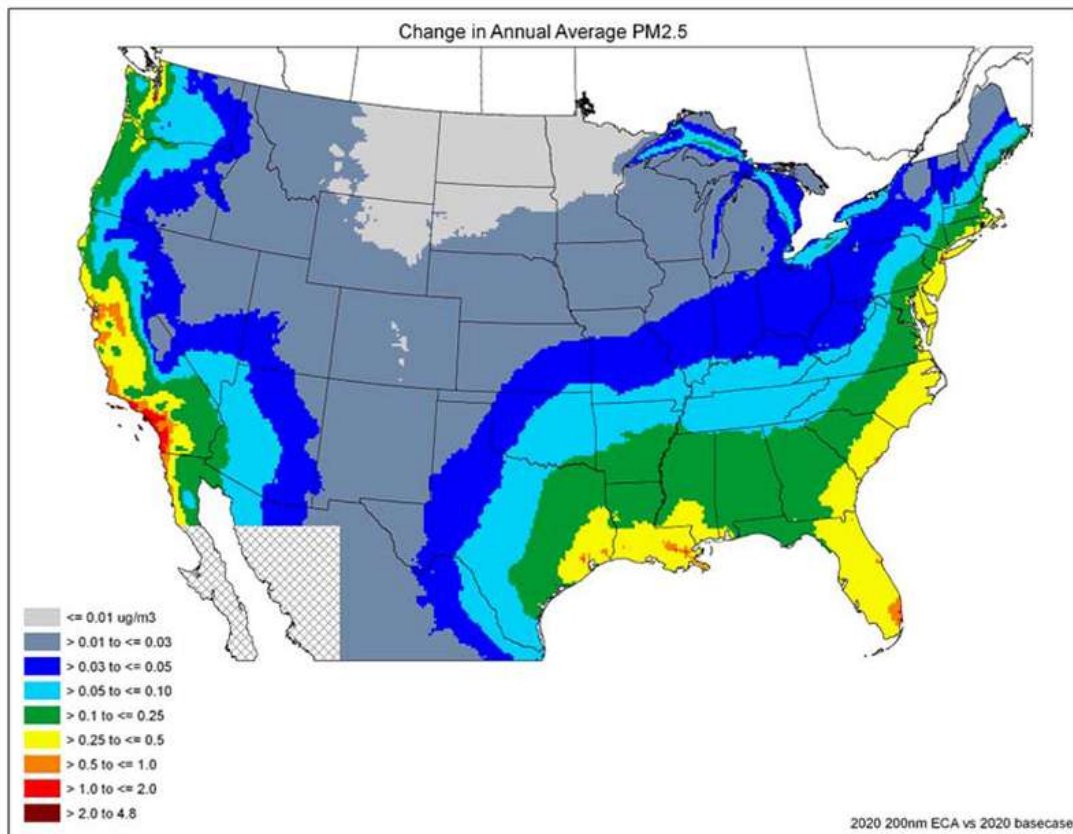
出典 1: "Program Update: Proposal of Emission Control Area to Reduce Emissions from Ships in the U.S. Caribbean," (2010 年 8 月、EPA) (<http://www.epa.gov/otaq/regs/nonroad/marine/ci/420f10041.pdf>)

出典 2: "Proposal to Designate an Emission Control Area for Nitrogen Oxides, Sulfur Oxides and Particulate Matter, Technical Support Document" (2009 年 4 月、EPA) (<http://www.epa.gov/otaq/oceanvessels.htm>)



出典:Regulatory Announcement: Proposal of Emission Control Area Designation for Geographic Control of Emissions from Ships
 (http://www.epa.gov/oms/regs/nonroad/marine/ci/420f09015.htm)

図 6.4 米国の港湾と大気環境基準未達成地域



出典：(同上)

図 6.5 ECA 導入により予想される PM2.5 及び Ox の濃度低減(2020 年)

6.4.2 マルポール条約以外の放出規制海域の事例

マルポール条約とは別途、船舶排出規制を実施している海域の事例を次に示す。これらは概ねマルポール条約より厳しい規制内容となっている。

表 6.9 放出規制海域の事例

事例	船舶排出ガスによるリスク	削減対象物質	規制内容
EU の船舶対策 (EU 指令 2005/33、 2006-2010 年段階 的発効)	酸性雨 ● 魚類の死滅 ● 森林破壊 ● 地表水の酸性化 ● 建物の溶解) 大気環境の悪化 ● 呼吸器疾患 ● 一般的な健康影 響	SO _x PM	燃料中の硫黄成分含有率 ● バルト海及び北海内の全ての船舶； 2010 年 7 月から 1.0%以下 2015 年 1 月から 0.1%以下 (※マルポール条約の SO _x 放出規 制海域として条約改正済) ● EU 内を航行する客船は 2007 年まで に 1.5%以下 ● EU 内で接岸する全ての船舶は 2010 年までに 0.1%以下
米国カリフォルニア 州の船舶対策 (2009 年 6 月発効)	発がんリスク	PM	燃料中の硫黄成分含有率(補助エンジン 及び主エンジン・補助ボイラ) ● マリン軽油(MGO)は 2012 年までに 0.1%以下 ● マリンディーゼル(MDO)は 2012 年 までに 0.1%以下

出典(欧州委員会):”New EU strategy to reduce atmospheric emissions from seagoing ships; DG Environment, European Commission,” 21 November 2002 (<http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/02595.presentation.pdf>) 等

出典(CalEPA ARB):”Rulemaking to Consider the Adoption of a Proposed Regulation for Fuel Sulfur and Other Operational Requirements for Ocean-Going Vessels Within California Waters and 24 Nautical Miles of the California Baseline (July 24, 2008)” (<http://www.arb.ca.gov/regact/2008/fuelogv08/fuelogv08.ht>)

① EU 指令 2005/33(マリン燃料に関する EU 指令 1999/32/EC の改正)

ア) 船舶からの排出低減のための施策

これまで実施されてきた EU における船舶からの排出低減のための主な施策を次に整理した。

表 6.10 EU における船舶からの排出低減のための主な施策

施策		内容
1993 年 3 月 23 日	欧州理事会 指令 93/12/EEC	ヨーロッパでは、この指令以前の数 10 年間、SO ₂ が酸性雨及び大気汚染の主たる原因物質とされてきた。この指令で特定の液体燃料に対する硫黄分が規制された ● 軽油(diesel fuel)…0.2%(1994 年 10 月～)、 0.05%(1996 年 10 月～) ● ガスオイル…0.2%(1994 年 10 月～)
1997 年 3 月 12 日	欧州委員会が酸性化対策のための戦略	特定の液体燃料に起因する硫黄の排出抑制が、重要な戦略の 1 つと位置付けられた

施策		内容
1999年 4月26日	EU指令1999/32/EC	指令93/12/EECを改正 <ul style="list-style-type: none"> ガスオイル…0.2%(2000年7月～) 0.1%(2008年1月～)
2002年 11月21日	外航船舶からの排出を削減するための戦略に関するコミュニケ	マリン燃料を規制対象に含めるためのEU指令1999/32/EC改正案 <ul style="list-style-type: none"> 北海、英国海峡及びバルト海を航行する船舶で使用されるマリン燃料…1.5% 旅客船で使用されるマリン燃料…1.5% マリンガスオイルに対する既存の規制値の改正 陸上電力供給施設の推進
2005年 7月6日	EU指令2005/33/EC	EU指令1999/32/EC改正 <ul style="list-style-type: none"> 船舶で使用される、あらゆる燃料が規制対象となった (※規制内容については(2)参照)
2006年 5月8日	陸上電力供給施設の推進に関する勧告	<ul style="list-style-type: none"> 特に大気汚染が基準を超えている地域の港や住宅地域に近い港において、陸上電力供給施設を推進すること この勧告に付随する技術要件、陸上電力供給施設に関する利益やコストについて考慮すること その他、陸上電力供給施設の推進を図る各種の方策を実施すること
2009年 12月21日	停泊中の船舶に使用される低硫黄燃料の使用の安全な施行に関する勧告	重油用のボイラでマリンディーゼルやマリンガスオイルを使用した場合、重油を想定した余熱において安全性が懸念されることに鑑み; <ul style="list-style-type: none"> 停泊中の船舶でこれらの燃料を使用できないものに対し、加盟国は、新基準の達成に向けて手段を講じていることの詳細な証拠の提出を要求することとする。 このような手段は、メーカーとの契約や、しかるべき機関に認められた改造計画をさす。 改造計画は、完了予定日及び認証取得予定日について明確に記載されたものとする。
2010年 7月1日	マルポール条約2008年改正の発効	バルト海、北海及び英国海峡を航行する船舶で使用されるマリン燃料…1.0%

注:

「マリン燃料」…船舶で使用されるあらゆる石油燃料。エンジン用に加え、船上使用を含む。

「マリンディーゼル燃料」…船舶で使用されるディーゼル燃料

「マリンガスオイル」…船舶で使用されるガスオイル (middle distillates (灯油、軽油及び A 重油))

「重油」…日本での B、C 重油

出典:

http://europa.eu/legislation_summaries/environment/air_pollution/l21050_en.htm

<http://ec.europa.eu/environment/air/transport/ships.htm>

1) EU指令2005/33/ECの主な規制内容

船舶で使用される燃料規制については、2005年の指令により、それまでの規制内容が強化された。規制の強化内容等を次に整理した。

表 6.11 EU 指令 2005/33/EC による燃料規制の強化内容

項目	内容	箇所
規制の目的	燃焼による SO ₂ 排出削減、及びそれによる人と環境への影響の低減 (※1999/32/EC から変更なし)	1 条 1
燃料規制の適用範囲	加盟国の領域内に加え、海域内、排他的経済水域内及び放出規制海域内が追加された (※1999/32 では加盟国の領域内に限定されていた)	1 条 2
	あらゆる船舶用燃料が規制対象となった (※1999/32/EC ではマリンガスオイルのみが規制対象となっていた(重油は除外されていた))	1 条 2
	除外される船舶が明記された <ul style="list-style-type: none"> ● 防衛、海上警備の船舶 ● 損傷を負っている船舶 ● 適切な排ガス処理技術を施した船舶等 (※新規追加)	1 条 2
重油の硫黄分規制	1%以下が維持されたが、船舶で使用される場合も規制対象となった (※1999/32/EC では一般的な重油の規制値は 1%以下とされていたが、船舶で使用される場合は除外されていた)	3 条
ガスオイルの硫黄分規制	0.2%以下(2000 年 7 月から) 0.1%以下(2008 年 1 月 1 日から) (※1999/32/EC から変更なし)	4 条
その他	次の硫黄分は最大 1.5%とされた(注) <ul style="list-style-type: none"> ● SO_x 放出規制海域内で使用されるマリン燃料 ● EU で寄港する定期旅客船で使用されるマリン燃料 発効 <ul style="list-style-type: none"> ● バルト海では 2006 年 8 月 11 日 ● 北海では 2007 年 8 月 11 日 ● 今後 IMO で指定される放出規制海域では、指定より 12 カ月後 (※新規追加)	4 条 a
	次の硫黄分は最大 0.1%とされた。発効は 2010 年 1 月 1 日 <ul style="list-style-type: none"> ● 陸内水路で使用されるマリン燃料 ● EU で寄港する船舶で使用されるマリン燃料 ただし次の船舶は除外された <ul style="list-style-type: none"> ● 停泊時間が 2 時間以内の船舶 ● エンジンを停止し陸上電源を使用する船舶等 (※新規追加)	4 条 b
	加盟国で販売されるマリンガスオイルの硫黄分は最大 0.1%とされた。発効は 2010 年 1 月 1 日 (※新規追加)	4 条 b
	排ガス処理装置の設置による 4 条 a、4 条 b の特例が認められた。加盟国は次の船舶を除外することができる。 <ul style="list-style-type: none"> ● 基準を達成するべく恒常的に排出が低減されている ● 排ガスの常時監視装置が設置されている ● あらゆる排水について詳細に記録されている (※新規追加)	4 条 c

注: EU 指令 2005/33/EC の後、マルポール条約附属書 IV が 2008 年に改正され、2010 年 7 月 1 日に発効することから、最新の規制値は 1%以下となっている。

ウ) 規制の根拠等とされている調査報告書

燃料規制の導入にあたっては、調査報告書等で環境への効果や政策的な妥当性が示されてきた。主な調査報告書を次に整理した。また、次の段階として全ての燃料における硫黄分0.1%規制を2015年から導入することについて現在検討中であり、これについても報告書が作成されていることがわかった。

表 6.12 燃料規制の根拠等とされている調査報告書

報告年月日	報告書名	入手方法
1999年12月	Marine Exhaust Emissions Quantification Study - Mediterranean Sea 船舶排出の定量的把握に関する調査(地中海)	①
2000年8月	STUDY ON THE ECONOMIC, LEGAL, ENVIRONMENTAL AND PRACTICAL IMPLICATIONS OF A EUROPEAN UNION SYSTEM TO REDUCE SHIP EMISSIONS OF SO ₂ AND NO _x 船舶からのSO ₂ 及びNO _x 排出低減のためのEUの施策に関する、経済、法律、環境及び実際の観点からの影響予測調査	②
2001年11月	The influence of ship traffic emissions on the air concentrations of particulate matter 船舶排出によるPM 大気濃度への影響	③
2002年4月	ADVICE ON THE COSTS TO FUEL PRODUCERS AND PRICE PREMIUMS LIKELY TO RESULT FROM A REDUCTION IN THE LEVEL OF SULPHUR IN MARINE FUELS MARKETING IN THE EU EU で販売されるマリン燃料中の硫黄分規制により予想される、燃料メーカーへのコスト及び価格上昇に関する勧告	④
2002年7月	Quantification of emissions from ships associated with ship movements between ports in the European Community EU内を航行する船舶に伴う船舶排出量の定量的把握	⑤
2003年10月	Advice on Marine Fuel; Potential price premium for 0.5%S marine fuel; Particular issues facing fuel producers in different parts of the EU; and Commentary on marine fuels market マリン燃料に関する勧告;硫黄分 0.5%規制に伴う価格上昇予測、燃料メーカーが直面する問題、及びマリン燃料市場に関する意見	⑥
2004年3月	Evaluation of the Feasibility of Alternative Market-Based Mechanisms To Promote Low-Emission Shipping In European Union Sea Areas EUにおける低排出海運を推進するための市場主導メカニズムの妥当性評価	⑦
2009年12月	Cost Benefit Analysis to Support the Impact Assessment accompanying the revision of Directive 1999/32/EC on the Sulphur Content of certain Liquid Fuels EU指令1999/32/EC改正に伴う影響評価を支持する損益解析	⑧
2010年6月	Market-based instruments for reducing air pollution – assessment of policy options to reduce air pollution from shipping 大気排出低減のための市場主導施策、海運からの排出低減のための施策に関する評価	⑨
2010年8月	COMPASS The COMPETITIVENESS OF EUROPEAN SHORT-SEA FREIGHT SHIPPING COMPARED WITH ROAD AND RAIL TRANSPORT ヨーロッパにおける道路輸送及び鉄道輸送に対する短距離海運の優位性	⑩

報告年月日	報告書名	入手方法
2010年12月	The 0.1% sulphur in fuel requirement as from 1 January 2015 in SECAs - An assessment of available impact studies and alternative means of compliance SOx 放出規制海域における硫黄分 0.1%規制の 2015 年導入、これまでの影響調査及び基準達成のための手段に関する評価	⑪

入手方法:

- ① http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/marine_exhausts.pdf
- ② http://ec.europa.eu/environment/enveco/taxation/ship_emissions/pdf/mainfinal.pdf
- ③ <http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/particulates.pdf>
- ④ <http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/020505bunkerfuelreport.pdf>
- ⑤ http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/chapter1_ship_emissions.pdf
- ⑥ http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/beicipfranlab_report.pdf
- ⑦ http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/04_nera_report.pdf
- ⑧ http://ec.europa.eu/environment/air/transport/pdf/CBA_of_S.pdf
- ⑨ <http://ec.europa.eu/environment/air/transport/pdf/MBI%20Lot%202.pdf>
- ⑩ http://ec.europa.eu/environment/air/transport/pdf/sss_report.pdf
- ⑪ http://ec.europa.eu/environment/air/transport/pdf/Report_Sulphur_Requirement.pdf

② 米国カリフォルニア州の船舶対策

米国カリフォルニア州ではディーゼル由来の PM や NOx による大気質への影響が課題とされ、2004年より船舶からの排出低減のための施策が実施されてきた。2009年には外航船舶に対するカリフォルニア州独自の燃料規制が全米に先だって導入された。この規制導入の経緯を表 6.13 に整理した。また主な規制内容を文末に整理した。

表 6.13 カリフォルニア州水域内及び 24 海里内の外航船舶に対する燃料中の硫黄分等の規制

意思決定	主な文書	関連資料
2008年 意見公募	<ul style="list-style-type: none"> ● 法令の根拠に関する初期報告書 Initial Statement of Reasons ● 法令案 Proposed Regulations for Fuel Sulfur and Other Operational Requirements for Ocean-Going Vessels Within California Waters and 24 Nautical Miles of the California Baseline 	<ul style="list-style-type: none"> ● 外航船舶からの排出の拡散モデル CALPUFF Dispersion Modeling of Ocean-Going Vessels Emissions ● 南海岸地域における外航船舶からの排出による影響 Impacts of OGV Emission on South Coast Air Basin: An Air Quality Modeling Analysis ● サンフランシスコ湾、ロサンゼルス港及びロングビーチにおける健康影響分析 Health Impact Analysis for the San Francisco Bay Area and the Communities Near the Ports of Los Angeles and Long Beach ● 低硫黄マリン燃料の供給に関する評価 Evaluation of the Availability of Low Sulfur Marine Distillate Fuel for Ocean-Going Vessels that Visit California
2009年3月19日 公聴会	<ul style="list-style-type: none"> ● 法令修正案 Proposed Modified Regulation Order for California Code of Regulations 	<ul style="list-style-type: none"> ● 法令による潜在的な環境影響に関する解析(補足) Supplemental Environmental Analysis of Potential Impacts from Changes in Southern California Vessel Routing as a Result of the ARB Ocean-Going Vessel Fuel Rule
2009年5月29日 公布	<ul style="list-style-type: none"> ● 法令 Final Regulation Orders 	<ul style="list-style-type: none"> ● 施行令 Executive Order R-09-003

意思決定	主な文書	関連資料
(2009年6月28日 発効)		<ul style="list-style-type: none"> 法令の根拠に関する最終報告書 Final Statement of Reasons

出典: <http://www.arb.ca.gov/regact/2008/fuelogv08/fuelogv08.htm>

主な規制内容

【適用範囲】

- 船籍等に拘わらずカリフォルニア州の水域を航行する全ての船舶を対象とする
- またカリフォルニア州の沿岸から24海里内を航行する全ての船舶も対象とする
- ただし連続航行で水域を通過する船舶を除く

【規制内容】

内燃機関	燃料種類	硫黄分	発効
補助ディーゼルエンジン及び ディーゼル電気エンジン	マリンガスオイル	1.5%	2009年5月29日
	マリンディーゼルオイル	0.5%	2009年5月29日
主エンジン及び補助ボイラ	マリンガスオイル	1.5%	2009年7月1日
	マリンディーゼルオイル	0.5%	2009年7月1日
全ての内燃機関	全ての燃料	0.1%	2012年1月1日

【その他の規定】

規制未達成の場合の課徴金制度が設けられ、未達成となった必然性を証明できる場合に限り、課徴金を支払うことが認められている。ただし、課徴金が認められる期間は一定とされ、寄港回数につれ金額が増すとされる。なお徴収された課徴金は、船舶・港湾からの排出低減や周辺住民のために利用される。

出典: <http://www.arb.ca.gov/regact/2008/fuelogv08/uid.pdf>

第7章 今後の課題

今年度は、大気汚染常時監視測定局のデータ分析を中心に議論を行い、港湾・空港周辺環境濃度について、概況(経年変化、月、時間、風向)を整理した。またそれと並行して、排出量把握手法、発生源寄与度の解析方法、健康・環境影響の評価手法の整理、国際動向の調査を行った。今後は、船舶、航空機の影響を把握するために、上記を踏まえて、以下に示す課題が考えられる。

7.1 船舶関係

7.1.1 測定値からの影響把握

今年度、測定局のデータを整理したところであり、本データ、各種活動量、一定の仮定の下、船舶からの影響推計を検討することが必要である。

港湾については、分析対象港湾周辺に設置されている既存の測定局のデータから港湾周辺の大気汚染状況の分析を実施したが、これらの測定局は一般大気環境又は自動車排ガスを監視する目的で設置されており、これらのデータのみから発生源毎の排出量の詳細を分析することは難しい。今後は、船舶排ガスの陸地への影響をより明らかにすることを目的とし、適切な場所、風向及び時間帯等を設定した上で測定の実施についての検討も必要である。また、下記7.1.2 や7.1.3 のような排出量推計やシミュレーションと測定局データとの比較に際し、データ不足又は特異な傾向を示す場所が存在した場合に、補間のため大気環境を測定することも検討する必要がある。

7.1.2 排出量の把握

今年度は、排出量の把握手法について整理を行った。今後は、測定値と比較をするために測定箇所周辺の船舶の種類別・航行状況から既存文献の活用なども想定し排出量を把握して比較を行い、排出量と濃度の経時変化について相関をとるなどにより、船舶の濃度への影響を分析する必要がある。

7.1.3 シミュレーションによる排出ガス影響把握

今年度は、分析対象港湾周辺の濃度が全国平均と比べると高い傾向があることがわかった。そこで、船舶排ガスの影響の寄与度や範囲、測定値との相違を把握するために既存文献の活用なども想定し排出量に基づくシミュレーションを利用した排出濃度の把握、測定局データとの比較をする必要がある。

7.1.4 健康・生態系影響等に関する調査

今年度は北米のECA 指定の際の提案文書を参考に、その調査手法と我が国における調査の実施状況を把握した。今後は船舶からの排出物として特徴的な硫黄酸化物や潜在的に排出が懸念される炭化水素等について知見を収集することが必要と考えられる。

7.2 航空機関係

7.2.1 大気汚染常時監視測定局の測定データの分析対象飛行場の拡大

今年度は、測定局のデータを整理したところであるが、調査対象とした飛行場が少なく、また、その周辺の測定局数も港湾に比べて少なかった。施設毎の特性があるのか、また、飛行場周辺として何らかの傾向があるのかを分析するため、今年度の調査、検討結果を踏まえて、調査の対象とする飛行場、測定局の拡大等を検討する必要がある。

7.2.2 排出量の把握

今年度は、排出量の把握手法について整理を行った。今後は、測定値と比較をするために測定箇所周辺の航空機の種類別・航行状況から排出量を把握し、排出量と濃度の経時変化について相関をとるなどにより、航空機の排ガスの環境中濃度の測定値への影響を分析する必要がある。