

平成 23 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 24 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防止に関する規則(MARPOL 条約附属書 VI)」が定められている。我が国においても当該規則を担保するため、「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」を施行している。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「国際民間航空条約附属書 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。

我が国における大気環境については、浮遊粒子状物質(SPM)や二酸化窒素(NO<sub>2</sub>)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、今後、自動車の排出ガス対策が進むことにより、大気汚染物質の排出源としての船舶及び航空機の寄与度が増加することが考えられる。そのため、環境省では、平成 22 年度、大都市周辺等の港湾及び空港周辺における窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)、粒子状物質(PM)等の大気環境濃度に関する傾向について調査し、その結果、船舶・航空機からの影響の可能性が示唆された。

本年度調査では、船舶及び航空機から排出される大気汚染物質の周辺環境への影響の大きさについて把握することを主な目的として「船舶・航空機排出大気汚染物質削減に関する検討会」を開催し、航空機に関しては成田国際空港で行った実測調査の結果について、また船舶に関しては実測調査の計画案の作成について議論した。検討会では学識経験者及び関係団体からの委員の参画を得て、平成 23 年 9 月から 3 回に亘り議論を重ね、航空機に関する貴重なデータを収集・整理できたと考えている。また船舶に関しても、測定条件や場所の選定について一定の方針を見出す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 24 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.

Reduction of air pollutants from ships is stipulated in International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL) Annex VI under the auspices of IMO, and in order to ensure the Convention's rules in Japan, Law relating to the Prevention of Marine Pollution and Maritime Disaster has been in force. With respect to reduction of air pollutants from aircrafts, Convention on International Civil Aviation Annex 16 stipulates the emission standards, which are domestically enforced as a part of Civil Aeronautics Act of Japan.

While the attainment rates of air quality standards for SPM and NO<sub>x</sub> have improved, the emissions from ships and aircrafts are less regulated than vehicles and there is little information available in this area. In addition, it is feared that the emissions from ships and aircrafts will increase in their contribution to air pollution relative to vehicle emissions, whose measures will continue to progress. Taking this situation into consideration, Ministry of the Environment studied in 2010 fiscal year the trends of air concentration for SPM, NO<sub>x</sub> and other air pollutants around ports and airports located in the major cities' peripheries. The results implied the possibilities that emissions from ships and aircrafts make impact on the surrounding atmosphere.

In the continued study this year, the main focus was placed on the determination of extent of the impact from ships and aircrafts emissions to atmospheric environment, and mainly examined the two points below:

- Field measuring of air pollutants in and around Narita International Airport, and analyses of the outcome;
- Field measuring plan for air pollutants for ships

From the field measuring in and around Narita International Airport, the study found that the air quality standards for NO<sub>2</sub> and PM<sub>2.5</sub> are generally attained, including at the measuring points close to one of the runways. Regarding PM<sub>2.5</sub>, it was strongly suggested that the jet engine exhaust gas contained a large amount of nanoscale particulate matter.

Concerning ships' field measuring, the study discussed the measuring points at the exits of Tokyo bay and Ise Bay as potentially favorable based on the estimated amount of emissions from cruising ships. The study also discussed the air pollutants to measure as index to the ships emissions, and found the air pollutants such as SO<sub>2</sub> and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> as the potential candidates for gaseous pollutant and particulate matter respectively.

平成 23 年度 船舶・航空機排出大気汚染物質削減に関する検討会 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	准教授
菊間 英行	成田国際空港株式会社 地域共生部 環境業務グループ	担当部長
城田 英之	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 温室効果ガス対策プロジェクトチーム(併任)	グループ長
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 環境計測研究センター 有機計測研究室	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

第1章 調査の概要 .....	1
1.1 調査の背景と目的 .....	1
1.2 平成22年度調査の概要と結果 .....	1
1.3 今年度調査の概要 .....	4
第2章 飛行場周辺の大気環境調査 .....	6
2.1 調査の背景及び目的 .....	6
2.2 常時監視局測定値を用いた飛行場周辺の大気環境調査 .....	7
2.2.1 調査項目 .....	7
2.2.2 調査結果 .....	8
2.2.3 飛行場周辺の距離別の解析(解析項目②) .....	9
2.2.4 風向が飛行場方面時と他方面時の濃度比較(解析項目③) .....	11
2.2.5 まとめ .....	11
2.3 モニタリングデータの詳細解析 .....	12
2.3.1 成田国際空港周辺の環境 .....	12
2.3.2 解析に使用したデータ .....	15
2.3.3 解析方法 .....	18
2.3.4 解析結果 .....	20
2.3.5 まとめ及び今後の課題 .....	26
2.4 成田国際空港における実測調査 .....	28
2.4.1 実測調査の概要 .....	28
2.4.2 事例解析:2011年12月16日 .....	32
2.4.3 実測期間中の汚染物質濃度(日平均値) .....	39
2.4.4 滑走路内の汚染物質の空間分布 .....	41
2.4.5 考察及びまとめ .....	49
2.4.6 今後の課題 .....	51
<b>参考</b> 地点2に設置したPM2.5測定値の補正 .....	52
第3章 港湾周辺の大気環境調査 .....	54
3.1 調査の概要 .....	54
3.2 港湾周辺の常時監視局データ解析 .....	54
3.2.1 解析方法 .....	54
3.2.2 調査結果 .....	59
3.3 船舶排ガス実測調査計画 .....	66
3.3.1 背景及び目的 .....	66
3.3.2 実測地点の検討 .....	66
3.3.3 実測候補地点選定ための情報収集 .....	78
<b>参考</b> .....	86
第4章 国際動向等 .....	89
4.1 船舶・航空機排出ガスに係わる規制、対策等の国際動向 .....	89
4.1.1 IMOの動向 .....	89
4.1.2 ICAOの動向 .....	90

4.2 船舶排出ガスによる健康・生態系への影響.....	90
4.2.1 背景 .....	90
4.2.2 海洋政策研究財団の調査事例.....	91
第5章 まとめ及び今後の課題.....	93
5.1 航空機.....	93
5.1.1 飛行場周辺の大気環境の把握.....	93
5.1.2 成田国際空港におけるモニタリングデータの詳細解析及び実測調査 .....	93
5.1.3 施策の検討.....	94
5.2 船舶 .....	95
5.2.1 港湾周辺の大気環境の把握 .....	95
5.2.2 船舶排ガスを対象とした実測調査計画.....	95
5.2.3 施策の検討.....	96

## 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防止に関する規則 (MARPOL 条約附属書 VI)」が定められている。我が国においても当該規則を担保するため、「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」を施行している。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「国際民間航空条約附属書 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。

我が国における大気環境については、浮遊粒子状物質 (SPM) や二酸化窒素 ( $\text{NO}_2$ ) 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、今後、自動車の排出ガス対策が進むことにより、大気汚染物質の排出源としての船舶及び航空機の寄与度が増加することが考えられる。このような背景から、本調査では、船舶及び航空機の排出ガス対策を適切に講じ、我が国の大気環境の更なる改善を図ることを目的に調査・検討を行っている。

### 1.2 平成 22 年度調査の概要と結果

平成 22 年度調査では、国内の主要な港湾及び飛行場周辺を対象に、それらの大気環境を把握するため、周辺のモニタリングデータを用いて解析を実施した。調査対象物質は、二酸化窒素 ( $\text{NO}_2$ )、浮遊粒子状物質 (SPM)、一酸化炭素 (CO)、非メタン炭化水素 (NMHC) である。その結果、影響の程度や割合、範囲については更なる調査が必要であるものの、船舶排ガスの影響がある程度あることが推察された。他方、港湾周辺には、船舶以外にも工場や道路等の主要な排出源があるため、今後はこれらの寄与を分割し各排出源が大気環境に与える影響を評価する必要がある。(表 1-1、表 1-2 参照)

表 1-1 平成 22 年度調査の結果の概要 (1/2)

港湾  
周辺

NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、SPM 濃度は、調査対象港湾周辺が比較的高い傾向がみられた。影響の程度や割合、範囲を把握するためには、今後更なる調査が必要であるものの、船舶排ガスの影響がある程度あることは推測された。他方、港湾周辺には、船舶以外にも工場や道路等の主要な排出源があるため、今後はこれらの寄与を分割し各排出源が大気環境に与える影響を評価する必要がある。

なお、SPM は SO<sub>2</sub> と同様の結果となったため割愛する。

- ▶ 調査対象港湾周辺の平均濃度は、いずれの物質も全国平均 (月間値及び時間値では 26 都道府県の平均) と比較して高い傾向がみられた。経年変化傾向は、両方とも近年の減少傾向となっている。

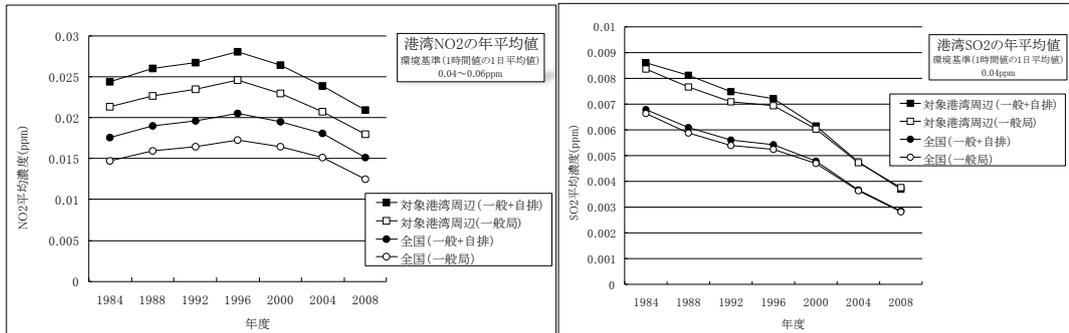


図 1-1 解析対象港湾周辺(港湾区域から 3km 以内平均)と全国平均の経年変化の比較

- ▶ 調査対象港湾の年平均濃度は、NO<sub>2</sub> は殆どさが見られず、SO<sub>2</sub> は港湾直近の方が 1~3ppb 程度高い値となった。但し、図 1-3 に示した例のように、湾によってその傾向は大きく異なる。

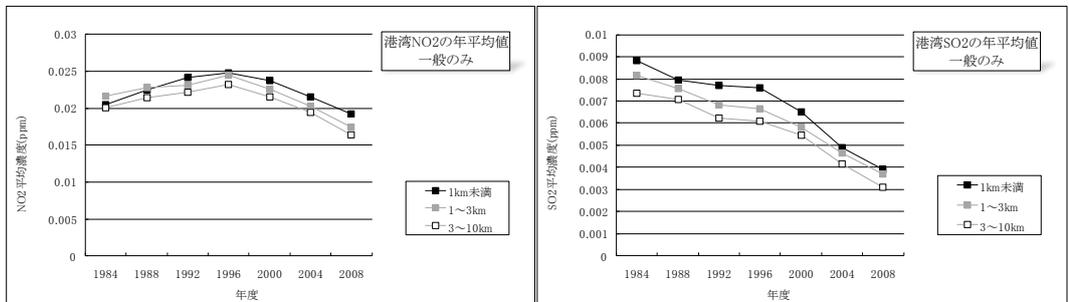
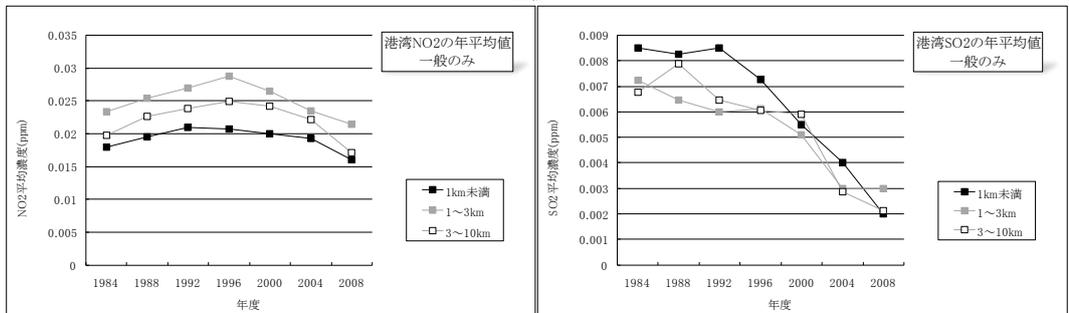


図 1-2 解析対象港湾周辺(港湾区域から 10km 以内)における距離別平均濃度の経年変化の比較

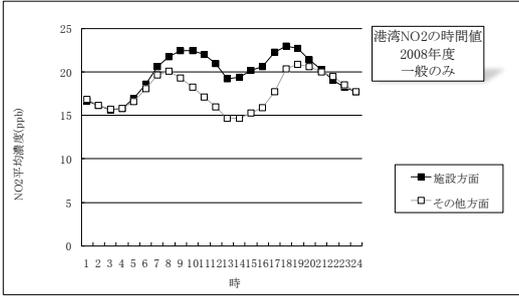
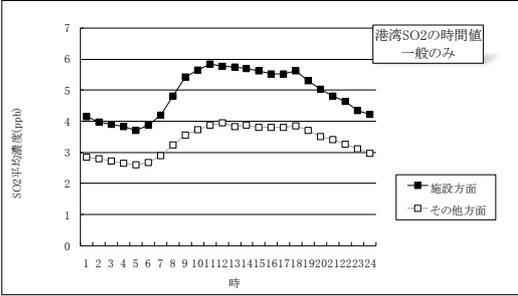
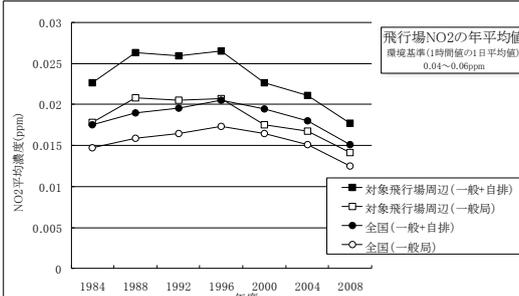
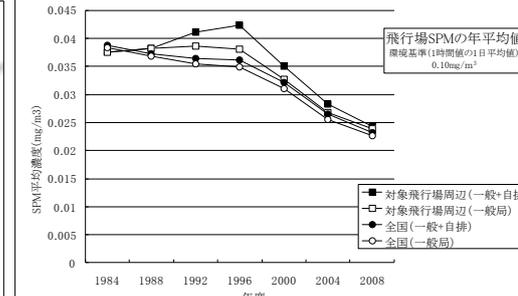


(名古屋港の例)

(衣浦港の例)

図 1-3 港湾周辺(港湾区域から 10km 以内)における距離別年平均濃度の経年変化の比較

表 1-2 平成 22 年度調査の結果の概要 (2/2)

<p>港湾 周辺 (続き)</p>	<p>➤ 調査対象港湾周辺 (3km 範囲内) の測定局の測定値を時間別・風向別に集計した結果、NO<sub>2</sub> は 7 時から 20 時にかけて約 4ppb 程度、SO<sub>2</sub> は全時間中約 5ppb 程度、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。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p>注: 「施設方面」とは、港湾方面から測定局に向かって風向が吹く場合であり、「その他の方向」は施設方面以外からの風向の場合である。</p> <p>図 1-4 調査対象港湾周辺 (港湾区域から 3km 以内平均) における時間帯別平均濃度の風向別比較</p>
<p>空港 周辺</p>	<p>NO<sub>2</sub> はわずかに飛行場直近の測定局平均値の方が高濃度となり、航空機及び飛行場関連施設からの排ガスの影響が示唆されたが、SPM に関してはほとんど差が見られなかった。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p>注: 解析対象飛行場は、羽田、成田、中部、伊丹、石垣の 5 空港である。</p> <p>図 1-5 解析対象飛行場周辺 (空港敷地外周から 5km 以内平均) と全国平均の経年変化の比較</p>

### 1.3 今年度調査の概要

平成 22 年度調査の結論を踏まえ、今年度調査では、常時監視局測定値の集計を追加で実施すると共に、航空機及び船舶それぞれから排出される大気汚染物質の周辺環境への影響の大きさについて把握することを目的に、航空機では実測調査を実施し、船舶では実測調査計画案を作成した。また、国際動向や健康・生態系への影響評価については、平成 22 年度から継続して調査を実施した。(表 1-3 参照)

なお、本年度調査で計画されていた、実測データに基づくメッシュ別濃度とシミュレーションによる計算濃度の比較・検証については、適切な検証手法について更に調査・検討が必要なこと、及び検証を行うシミュレーション結果の入手が難しいとされたことから、本年度調査では実施しなかった。

表 1-3 平成 23 年度の調査項目と内容

調査項目	調査内容
飛行場周辺の大気汚染状況の実測調査	航空機排出大気汚染物質による周辺への影響の大きさや範囲を把握するための基礎資料として実測データを収集するために、成田国際空港内等で行うための実測調査方法、既存データの予備的解析、及び実測調査結果について検討した。
船舶排出ガスの影響把握のための実測調査計画案の作成	船舶排出大気汚染物質による周辺への影響の大きさや範囲を把握するための基礎資料として実測データを収集するための実測調査計画手法を検討するため、最適な実測条件や場所について検討した。
実測データを用いた大気汚染状況の把握	平成 22 年度調査の内容を補完するために、港湾周辺では、オキシダント濃度の解析(放出規制海域(ECA)指定の際の論点となる)、飛行場周辺では、対象飛行場数を増やして(昨年度は 5 箇所に限っていたため、全国の傾向を把握するには対象施設数が少なかった)、常時監視データの解析を行い、港湾周辺、飛行場周辺における大気汚染状況の傾向について検討した。
船舶・航空機排出ガスに係る規制、対策等の国際動向調査	船舶・航空機排ガスに係る規制、対策等の国際動向を把握するために、主に国際機関(船舶:国際海事機関(IMO)、航空機:国際民間航空機関(ICAO))における議論の動向を会議資料等に基づき調査した。
健康及び生態系への影響に関する文献調査	船舶からの排出の影響が懸念される物質による健康及び生態系への影響に関する調査事例について文献調査した。
実測データに基づくメッシュ別大気汚染物質濃度の推定調査	港湾周辺における濃度分布を把握するために、船舶をはじめとする各発生源における排出強度や常時監視局の位置関係からメッシュ別大気汚染物質を推定する方法を検討した。

上記の調査内容は、船舶・航空機排出大気汚染物質削減に関する検討会において議論された。検討会の開催状況は表 1-4 のとおりである。また検討会の委員は、本報告書の冒頭に示したとおりである。

表 1-4 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 23 年 9 月 20 日	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 昨年度調査の概要と課題</li> <li>● 成田国際空港における実測調査計画</li> <li>● 実測値に基づくメッシュ別濃度の推定手法</li> </ul>
第2回	平成 24 年 1 月 26 日	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 成田国際空港における実測調査の中間報告</li> <li>● 船舶に関する実測調査計画案(場所、測定物質等について)</li> <li>● 本調査の時点とりまとめと今後の課題</li> </ul>
第3回	平成 24 年 3 月 2 日	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 成田国際空港における実測調査の結果及び今後の課題</li> <li>● 船舶に関する実測調査計画案(既存データの解析等について)</li> <li>● 本年度調査の報告書(案)</li> </ul>

## 第2章 飛行場周辺の大気環境調査

### 2.1 調査の背景及び目的

平成 22 年度調査において、飛行場周辺の大気環境を把握するため、発着陸回数が多い成田国際空港、羽田空港、中部空港、伊丹空港を対象に、周辺のモニタリングデータ(常時監視局及び空港管理会社における自主測定局の NO<sub>2</sub>、SPM、CO、NMHC 濃度の 1 時間値)の集計を実施した。その結果、NO<sub>2</sub> に関しては、飛行場に近づくほど濃度が高くなる傾向が見られ、航空機排ガスまたは、空港関連施設からの排ガスが、周辺の大気環境に影響を与えている可能性があることが示唆された。他方、それ以外の物質に関しては、飛行場直近とそれ以外とで特徴的な違いは見られなかった。また、昨年度調査では、4 空港のみを対象に調査を実施したため、その結果が、国内の飛行場における大気環境を代表しているとは限らない。そこで、今年度は調査対象を 20 空港に拡大して調査を実施した。

一方、常時監視局は、一般的な大気環境(一般局)及び自動車排ガスの影響(自排局)を把握することを目的に設置されており、必ずしも航空機排ガスの影響を把握するのに適した地点のデータを使用しているとは限らない。また、航空機排ガスの影響範囲、程度は大気安定度や風向・風速等の大気状態に強く依存するため、より定量的に航空機排ガスの影響を把握するためには、これらを考慮した詳細な解析が必要である。

これらを踏まえ、今年度の調査では、発着回数が多く、空港周辺に顕著な排出源が少ないことから成田国際空港を選定し、空港周辺のモニタリングデータ(空港周辺の常時監視局測定値、空港管理会社における自主測定局測定値)を用いて詳細な解析を実施するとともに、滑走路中央付近と空港外の計 2 地点に実測地点を設置し調査を行った。

## 2.2 常時監視局測定値を用いた飛行場周辺の大気環境調査

昨年度の調査の結果、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た一方、NO<sub>2</sub>ではごく近傍は濃度が高い可能性が示唆された。また、この結果は4空港に限定されたものであることが課題とされた。

そこで本年度調査では、上記の傾向が全国的に見られるかを把握するために、対象とする飛行場の数を増やして同様の解析を実施した。ここでは対象とする飛行場としては航空機から一定の排出ガスが排出されることとして、発着数の多い20飛行場を対象とした。

### 2.2.1 調査項目

飛行場の解析項目は、平成22年度調査と同様、①全国平均と飛行場周辺平均の比較、②飛行場周辺の距離別解析、及び③風向別解析の3項目とした。各項目の概要を表2-1に、解析対象とする常時監視測定局等の選定方法を表2-3に、また解析対象局数を表2-3に示す。

表 2-1 解析項目の概要

解析項目	概要
①全国平均と飛行場周辺平均の比較	➤ 比較的規模の大きい飛行場(以下「上位20飛行場」)周辺における濃度を把握。
②飛行場周辺の距離別解析	➤ 上位20飛行場周辺における距離別の濃度変化を把握。
③風向別解析	➤ 上位20飛行場近傍における、風向が飛行場方向時と他方向時の濃度の比較。

表 2-2 解析対象とする常時監視測定局等の選定方法

解析項目	選定方法
①全国平均と飛行場周辺平均の比較	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 飛行場区域から周辺10kmとする(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(成田国際飛行場で6000feet上昇するのに13km移動するとの情報)から設定)</li> <li>➤ 自排局は除外する(自動車からの直接的な影響を受けるため)</li> <li>➤ 飛行場独自の測定局も含む</li> </ul>
②飛行場周辺の距離別解析	(①と同じ)
③風向別解析	➤ 周辺5kmとする(風向による相違は港湾から“ごく近傍”に限定されると仮定)

注：時間値を使用する場合は2009年度データを使用。ただし中部国際空港の自主測定局に限り2008年度で測定が終了したため、2008年度データを使用。

表 2-3 解析対象局数

No. ※2)	飛行場名 ※3)	測定局数	
		周辺 5km (独自測定局数を含む)	周辺 10km (周辺 5kmを除く)
1	羽田	3	8
2	成田	9	2
3	福岡	4	4
4	伊丹	5	13
5	関西国際	--	3
6	那覇	2	--
7	中部	3	8
8	新千歳	5	4
9	鹿児島	--	1
10	仙台	2	1
11	長崎	1	--
12	名古屋	4	5
13	宮崎	1	2
14	熊本	2	1
15	八尾	6	7
16	松山	4	1
17	新潟	3	1
18	高知	2	1
19	神戸	2	9
20	広島	2	1
※	石垣	1	--
	合計	61	72

※1) 2009 年度データの数値。「--」は測定局がないことを示す。

※2) 発着回数の多い順(2008 年、石垣飛行場を除く)。

※3) 網掛けは平成 22 年度調査の対象。

## 2.2.2 調査結果

全国平均と飛行場周辺平均の経年比較を図 2-1 に示す(各図のデータ数は表 2-4 参照)。ここでは以下の状況がみられた。

- NO<sub>2</sub> は 1996 年ごろから減少に転じ、この傾向は全国と飛行場周辺で同様
- NO<sub>2</sub> 以外の物質で、全国的に濃度が減少し、この傾向は飛行場周辺でも同様
- NO<sub>2</sub> では空港周辺のほうが濃度が高いが、NO<sub>2</sub> 以外は、全国と飛行場周辺で、濃度に大きな違いはない。

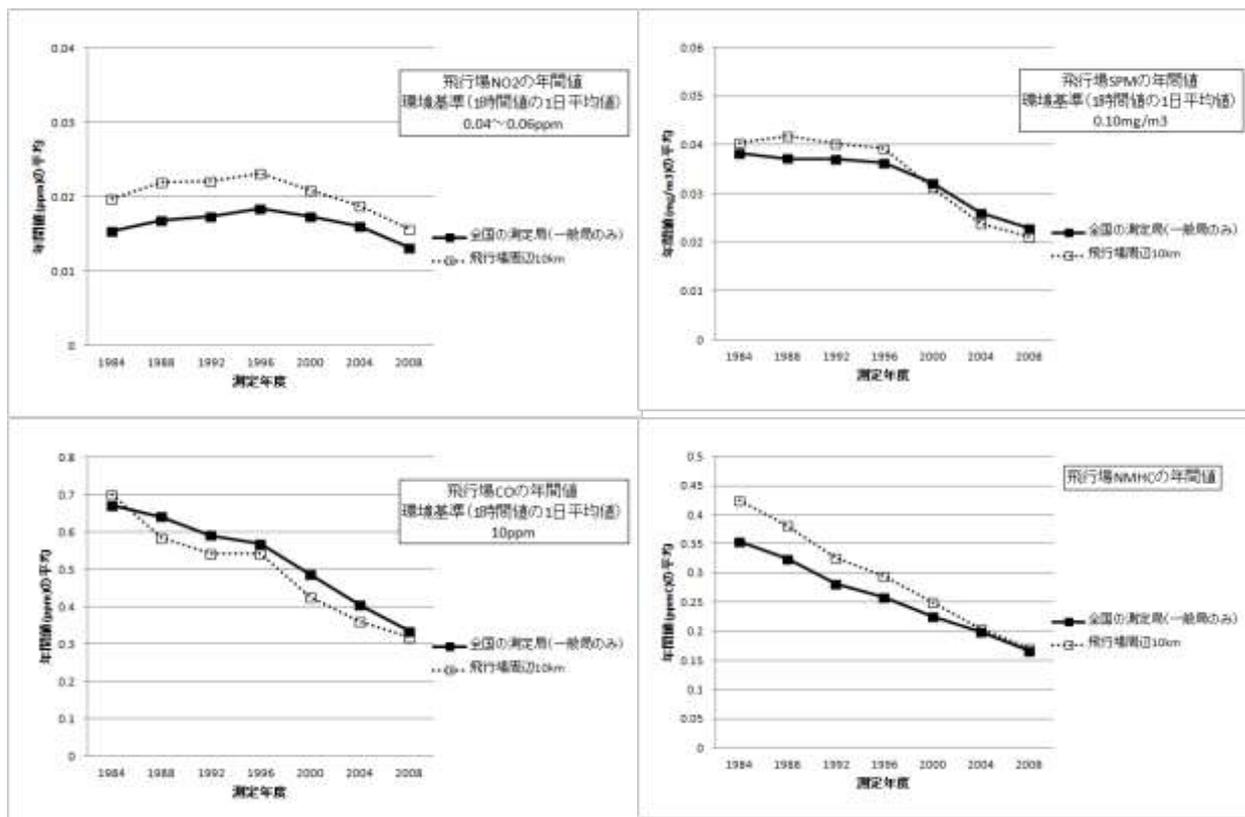


図 2-1 全国平均と対象飛行場周辺における年平均濃度の比較

表 2-4 全国平均と対象飛行場周辺における年平均濃度の比較各図のデータ数

測定年度	全国の測定局(——■——)				飛行場周辺の測定局(···□···)			
	NO <sub>2</sub>	SPM	CO	NMHC	NO <sub>2</sub>	SPM	CO	NMHC
1984	962	500	56	196	76	44	7	21
1988	962	500	56	196	76	44	7	21
1992	962	500	56	196	76	44	7	21
1996	962	500	56	196	76	44	7	21
2000	966	504	60	200	80	48	11	25
2004	970	508	64	204	84	52	15	29
2008	970	508	64	204	84	52	15	29

### 2.2.3 飛行場周辺の距離別の解析(解析項目②)

飛行場周辺の距離別の傾向を図 2-2 に示す(各図のデータ数は表 2-5 参照)。ここでは、最も濃度が濃い距離帯は、物質により異なる状況がみられ、いずれの物質でも、飛行場に近きことと濃度の高低に顕著な相関はみられなかった。

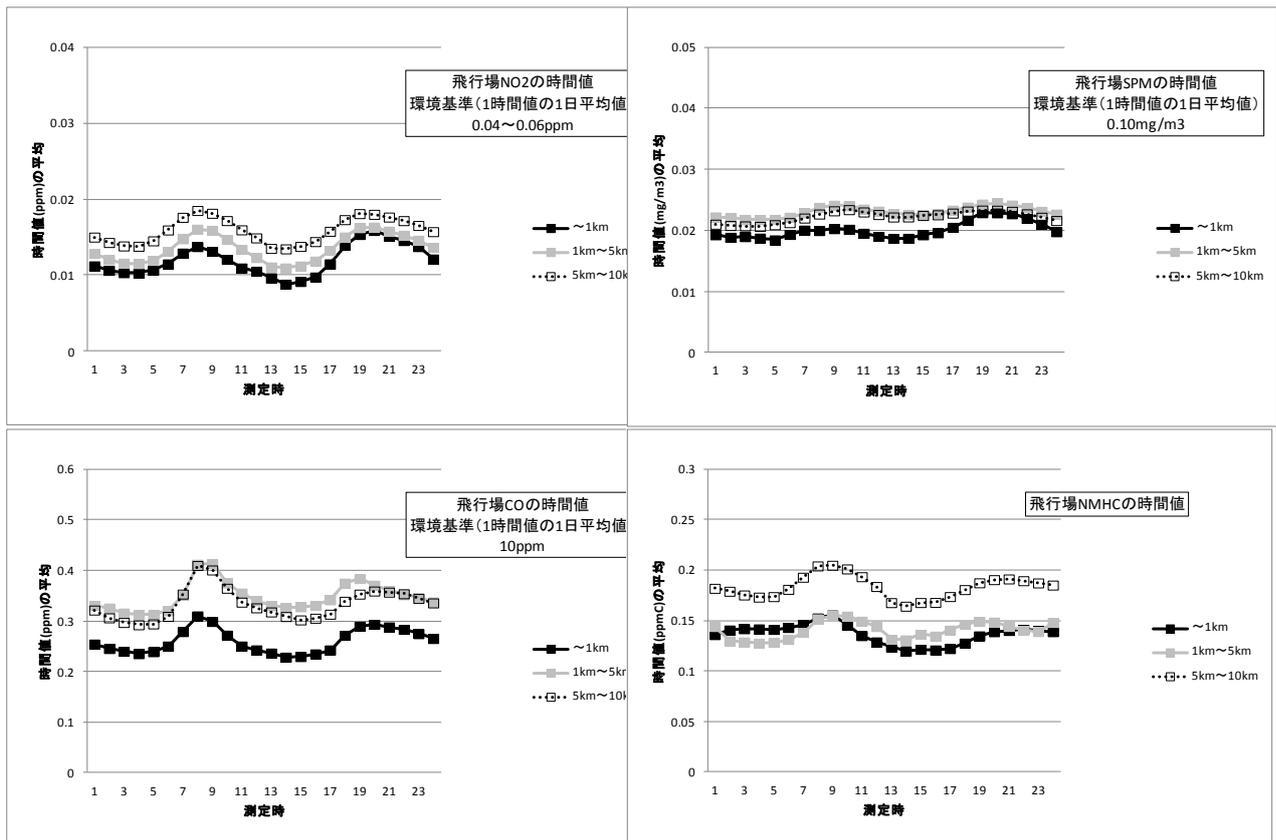


図 2-2 飛行場周辺の距離別の傾向

注) 値は測定時までの 60 分の平均値。中部国際空港による自主測定局を除き、2009 年度データを使用した。(中部国際空港による自主測定局データは 2008 年度で測定を終了したため。)

表 2-5 飛行場周辺の距離別の傾向各図のデータ数

物質	■	■	□
	~1km	1km~5km	5km~10km
NO2	8	41	68
SPM	9	42	65
CO	7	5	5
NMHC	7	14	23

## 2.2.4 風向が飛行場方面時と他方面時の濃度比較(解析項目③)

風向が飛行場方面時と他方面時の濃度比較を図 2-3 に示す(対象となった飛行場は 13、測定局は 34)。ここでは、いずれの物質でも風向が飛行場方面の時の濃度と、飛行場以外の風向の時の濃度では、ほとんど差異がない状況がみられた。

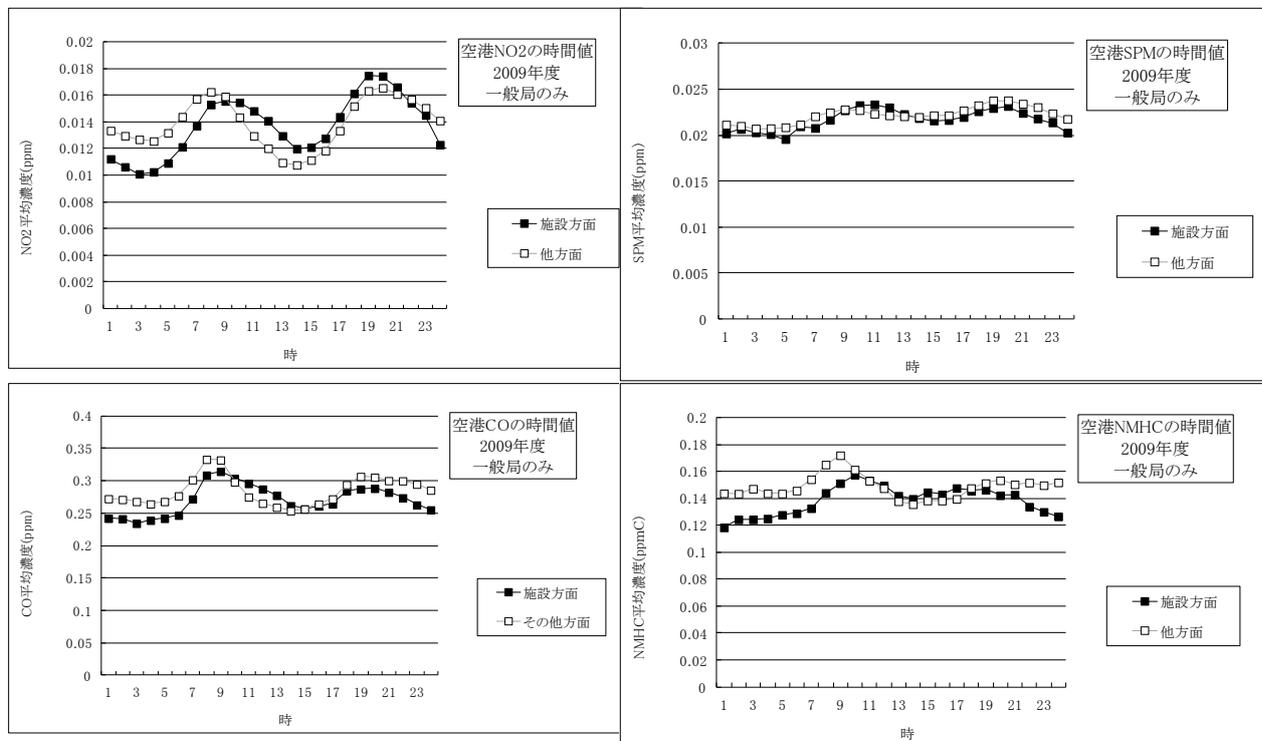


図 2-3 風向が飛行場方面時と他方面時の濃度比較

注) 値は測定時までの 60 分の平均値。中部国際空港による自主測定局を除き、2009 年度データを使用した。(中部国際空港による自主測定局データは 2008 年度で測定を終了したため。)

## 2.2.5 まとめ

上記の解析項目①から③により、飛行場周辺の大気汚染濃度の状況は次のとおりである。

- ここで対象としたいずれの物質でも飛行場周辺の濃度と、我が国の一般的な濃度との間に顕著な差異はなく、また飛行場に近いか遠いほど濃度が高い、あるいは低いといった傾向は認められない。
- NO<sub>2</sub>、SPM については、我が国では一般的に近年改善傾向であるが、この傾向は飛行場周辺でも同様である。

## 2.3 モニタリングデータの詳細解析

### 2.3.1 成田国際空港周辺の環境

#### ① 立地環境

成田国際空港が位置する千葉県成田地域は、関東平野の東部に位置し、一部緩やかな傾斜があるものの比較的平坦な地形である(図 2-4)。空港の西側に市街や事業所等が密集しており、東側に森林や田畑が分布している(図 2-5)。また、B 滑走路の西側約 2km に工業団地があり、A 滑走路のすぐ西側に住宅街(新田地区)、西側約 4km に成田市の中心市街が分布している(図 2-5)。

夏季は太平洋高気圧に覆われるため南よりの風が卓越し、冬季は西高東低の冬型の気圧配置により北よりの風が卓越する。また、東京湾から約 30km 地点に位置し、夏季に一般風の影響が小さい場合は南西方向の海風が吹くことがある(菊地(1983)<sup>1)</sup>)。

---

1) 菊地立(1983), 関東地方の局地風系と高濃度大気汚染の関係についての研究, 公害研究報告書 第 44 号, P31-55.



出典:Yahoo! 地図

図 2-4 成田国際空港の位置(関東スケール、図中の○が成田国際空港を示す)



出典:国土地理院(1/18000 地図)

図 2-5 成田国際空港周辺の環境(詳細地図)



## 2.3.2 解析に使用したデータ

### ① 成田国際空港周辺のモニタリング地点

成田国際空港では、空港管理会社によって自主的に空港内外の計 6 地点で大気環境のモニタリングが実施されている(以降、自主測定局と呼ぶ)(図 2-7)。他方、成田国際空港の周辺約 10km 以内には 6 地点の常時監視局があり、両者を合わせて空港周辺には 12 地点のモニタリング地点がある(図 2-8)。表 2-6 に各測定地点の概要を示す。

表 2-6 成田国際空港周辺のモニタリング地点の周辺環境と空港との位置関係

測定局名称	区分	空港との位置関係	周辺の環境
自主測定局	A 滑走路北局	空港内。A 滑走路の北側。	北側約 300m に新空港自動車道と国道 295 号が並走
	A 滑走路南局	空港内。A 滑走路の南側。	南側約 1,000m に国道 296 号 南東側約 500m に県道 62 号
	B 滑走路北局	空港内。B 滑走路の北側。	西側約 2,000m に工業団地 南側約 100m に東関東自動車道
	B 滑走路南局	空港内。B 滑走路の南側。	東側約 3,000m に県道 79 号
	東部局	空港外。B 滑走路の東側約 1,000m。	小規模な住宅街(新田地区)に位置 西側約 500m にごみ焼却施設 北側約 1,500m に東関東自動車道と国道 295 号が並走 南側約 1,000m に県道 44 号
	西部局	空港外。A 滑走路の西側約 1,000m。	住宅街(三里塚)に位置 南側約 400m に県道 106 号 西側約 300m に県道 62 号
常時監視局 (一般局)	芝山山田	空港の南側約 2,500m に位置	周辺は田畑、ゴルフ場
	成田大清水	空港の西側約 2,000m 位置	西側約 200m に県道 62 号 田畑に囲まれている
	成田奈土	空港の北北東約 9,000m	田畑に囲まれている
	成田加良部	空港の西側約 5,000m	成田市の中心街に位置
常時監視局 (自排局)	成田幡谷	空港の北北西約 6,000m	田畑、ゴルフ場に囲まれている
	成田花崎	空港の西北西約 4,500m	成田市街に位置 国道 51 号沿いにある



図 2-7 成田国際空港管理会社による自主測定局の位置

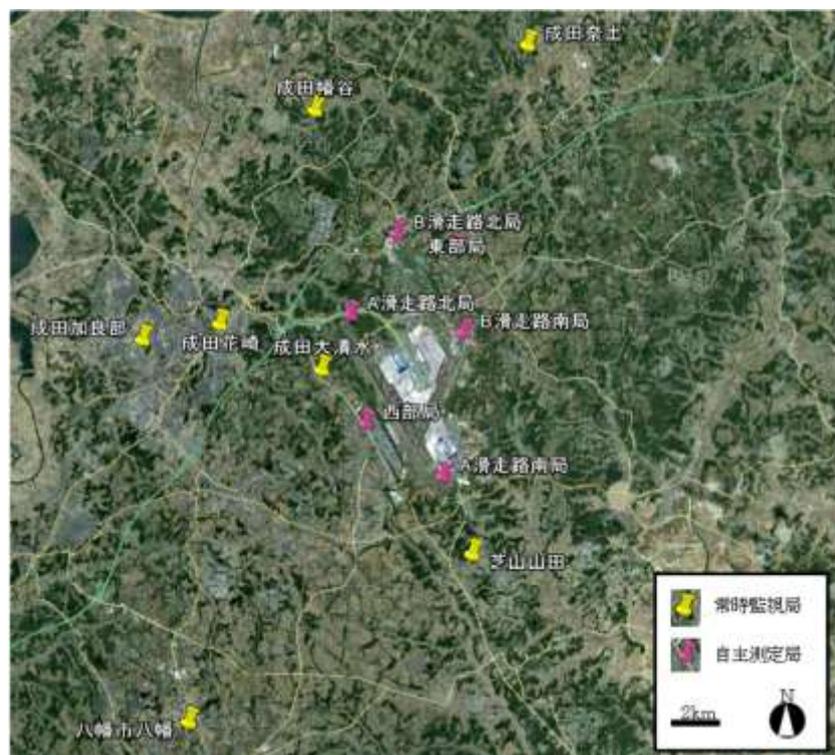


図 2-8 成田国際空港周辺の常時監視局及び自主測定局

## ② 測定項目

各測定地点における測定項目を表 2-7 に示す。日射量及び放射収支量は、自主測定局では A 滑走路北局、常時監視局では成田幡谷で測定されている。また、空港外の自主測定局である東部局及び西部局では、光化学オキシダントの測定を実施している。自主測定局の汚染物質に関する測定方法は、常時監視局と同じだが、風向・風速速計は高さ3mに設定されており、AMeDAS等を使用される一般的な風向・風速計(高さ5m)よりも低い。

表 2-7 自主測定局および周辺の常時監視局における測定項目

測定局名称	測定項目 ※ ○は測定											
	SO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	O <sub>x</sub>	CH <sub>4</sub>	SPM	風	気温	湿度	日射
A 滑走路北局	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○
A 滑走路南局	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	
B 滑走路北局	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	
B 滑走路南局	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	
東部局	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
西部局	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
芝山山田		○	○	○		○		○	○			
成田大清水	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
成田奈土	○	○	○	○		○		○	○			
成田加良部	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	
成田幡谷	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
成田花崎		○	○	○	○			○	○			

### 2.3.3 解析方法

ここでは、航空機排ガスが、周辺の大気環境に与える影響をより定量的に把握するため、以下に示す4通りの手法にて、モニタリングデータの解析を行った。

#### ① 周辺の常時監視局測定値との比較(時間平均値)

空港近くに位置する自主測定局の測定値と周辺の常時監視局測定値との比較を行い、空港直近の大気環境を把握する。その際に、自動車のような特徴的な日変化(一般的に通勤、帰宅ラッシュに対応した二つ山の分布となる)が見られるかどうか確認するため、時間平均値の日変化を確認する。対象物質は、自主測定局及び周辺常時監視局の全地点で測定されている NO、NO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、SPM とする。

#### ② NO/NO<sub>x</sub>比

燃焼起源によるNO<sub>x</sub>中のNO/NO<sub>x</sub>比は、一般的に排出源に近い程、NOの比率が大きく、排出源から遠ざかる程NOは酸化されてNO<sub>2</sub>となるためNOの比率は小さくなる。ここでは、航空機排ガスが周辺大気環境に与える影響及び寄与率を把握する際の指標として、使用可能かどうかを判断するため、風向・風速別にNO/NO<sub>x</sub>比を求めることとする。

#### ③ 局所濃度解析

滑走路を通過する航空機から排出された汚染物質の寄与を大まかに把握するため、滑走路の両端の測定局の濃度差をとった。ここでは、差をとった値を滑走路内の局所的な濃度であることから、局所濃度と呼ぶ。本調査では、風向・風速別に局所濃度を算出し、加えて、空港の運航時間(6時～23時)、運航時間外(24時～5時)に分類し、比較することで航空機排出ガスの影響を把握する。

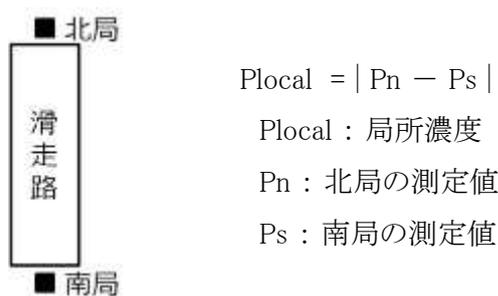


図 2-9 局所濃度

#### ④ 風速別濃度解析

一般的に自動車の排出ガスは、風速に比例して拡散の影響が大きくなるため、大気中の汚染物質濃度が低くなる。それに対して、航空機の排出ガスは高温で排出されるため、風速が小さいと浮力によって上昇し、排出ガスを含んだ空気塊が測定地点に到達する前に上空に拡散すると考えられている。

David et al.,(2006)<sup>2)</sup>では、イギリスのヒースロー空港内及び周辺の大気汚染物質モニタリングデータを用いて、風速別 NO<sub>x</sub> 濃度を示し(図 2-10)、滑走路近傍の測定局測定値では、約 9m/s まで風速に比例して濃度が上昇し、11m/s 程度までは高濃度となることを示している。なお、図 2-10 では、3 地点のモニタリングサイトの測定結果を示しており、LHR2 が Northern Runway 直近の 160m 地点に位置する。ラベルに記載されている northern runway takeoff、southern runway takeoff は、順に、北側の滑走路で航空機がフライトした場合、南側の滑走路で航空機がフライトした場合の風速別平均濃度を示している。上述した、風速に比例して濃度が上昇する傾向は、northern runway 直近の LHR2 にて、northern runway から航空機がフライトした場合にのみ見られる。

本調査でも同様の解析を実施し、国内の空港においても、航空機排出ガスの汚染物質濃度が風速に依存するかどうかを確認する。

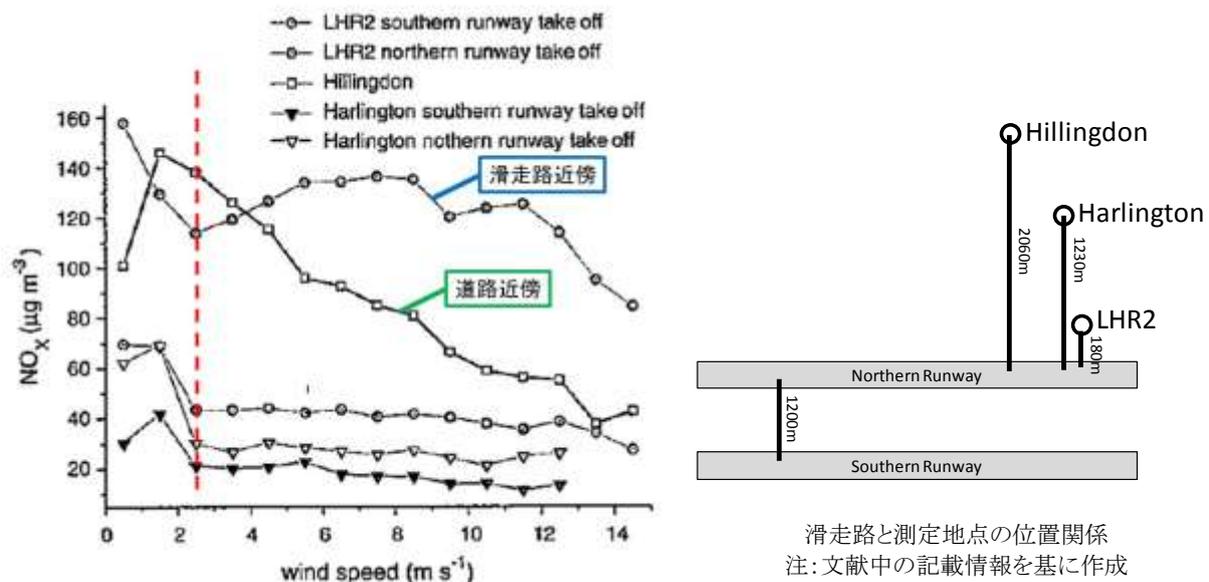


図 2-10 ヒースロー空港内及び周辺における NO<sub>x</sub> 濃度と風速(David et al. , 2006)

2) David C. Carslaw , Sean D. Beevers , Karl Ropkins , Margaret C. Bell (2006), Detecting and quantifying aircraft and other on-airport contributions to ambient nitrogen oxides in the vicinity of a large international airport, Atmospheric Environment , 40 , 5424-5434.

#### 2.3.4 解析結果

##### ① 周辺の常時監視局測定値との比較結果

図 2-12 及び図 2-11 に成田国際空港自主測定局と空港周辺の常時監視局における 2008 年度の NO、NO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、CH<sub>4</sub>、CO、SO<sub>2</sub>、SPM の時間平均値の日変化を示す。

NO は、自主測定局、特に滑走路直近の測定局の濃度が、終日周辺の常時監視局測定値に比べて高い濃度レベルとなっている。また、滑走路直近の測定局のみで、夕方 16 時以降の顕著な濃度上昇が見られることから、これらの濃度上昇は航空機起源の排ガスによるものと考えられる。

NO<sub>2</sub> は、自主測定局、常時監視局共に朝と夕方にピークを持つ二つ山の分布となっており、16 時以降の二つ目の山で数 ppb 程度、滑走路直近の測定局の濃度が高くなっている。

CH<sub>4</sub> は日中、日射によって混合層が発達する時間帯に濃度が低くなっており、自主測定局と常時監視局にそれほど違いは見られない。CO は、朝 7 時頃と夕方 18 時頃にピークが見られ、特にこの傾向が自排局で顕著であることから、これらは通勤及び帰宅時の自動車の排ガスによる可能性が高い。

SO<sub>2</sub> は日中濃度が上昇し、夜間に下がる一つ山の分布をしている。A 滑走路の南局は、その他の地点に比べて終日約 0.5ppb 程度高い値となっている。

SPM は日変化がほとんど見られないが、空港内の測定局よりも、空港の南側に位置する芝山山田や空港西側の住宅街に位置する成田大清水の方が高い値となっている。

##### ② NO/NO<sub>x</sub> 比

A 滑走路北局及び A 滑走路南局における風向・風速別 NO/NO<sub>x</sub> 比を図 2-13 に示す。航空機の運航時間中(6-23 時)は、滑走路方向から風が吹く際に NO の比率が高くなっており、特に A 滑走路南局で北西よりの風が吹く際に顕著に見られ、約 50%まで上昇している。NO 比率の上昇は、風速に比例する傾向が見られる。燃焼起源の窒素酸化物は、一般的に NO として排出され、その後、大気中で参加して NO<sub>2</sub> となる。このことから、風速が大きい程、短時間で排ガスプルームが測定地点に到達する分、NO の比率が大きくなるものと考えられる。

一方で、運航時間外を見ると NO 率の上昇は見られず、このことから航空機排ガスの影響であると考えられる。

##### ③ 局所濃度解析結果(NO<sub>x</sub>、SPM)

成田国際空港 A 滑走路における NO<sub>x</sub> 及び SPM の風向・風速別の局所濃度を図 2-14 に示す。航空機の運航時間中(図 2-14(a))は、北西～北北西風が卓越する際にそれ以外の風向に比べて 30～50ppb 程濃度が高くなっており、特に、風速が大きい程その影響は顕著である。従って、NO<sub>x</sub> に関しては、ある程度航空機排ガスが周辺の大気環境に影響を与える可能性があることが示唆された。

一方、SPM に関しては特に風向による違いは見られず、運航時間内／運航時間外においても違いが見られない。これは、SPM が大気中での反応によって生成される二次粒子により濃度が決まることが多いため、滑走路内の航空機排ガスに対して、バックグラウンド濃度が高く、排出源直近ではそれほど濃度が高くないことによるものと考えられる。

#### ④ 風速別濃度解析結果

図 2-15 に A 滑走路における風速別の局所濃度 (NO<sub>x</sub>) を示す。運航時間内の局所濃度は、風速 4.0m/s 以上になると風速に比例して上昇する傾向が見られる。一方、運航時間外は、風速に反比例して濃度が小さくなる。また、フライト本数が少ない B 滑走路においてこのような上昇が見られない (図 2-16) ことから、A 滑走路における風速 4.0m/s 以上での NO<sub>x</sub> の濃度上昇は航空機排ガスによる影響が大きいと考えられる。これらの結果は、David et al.,(2006)と同様である。

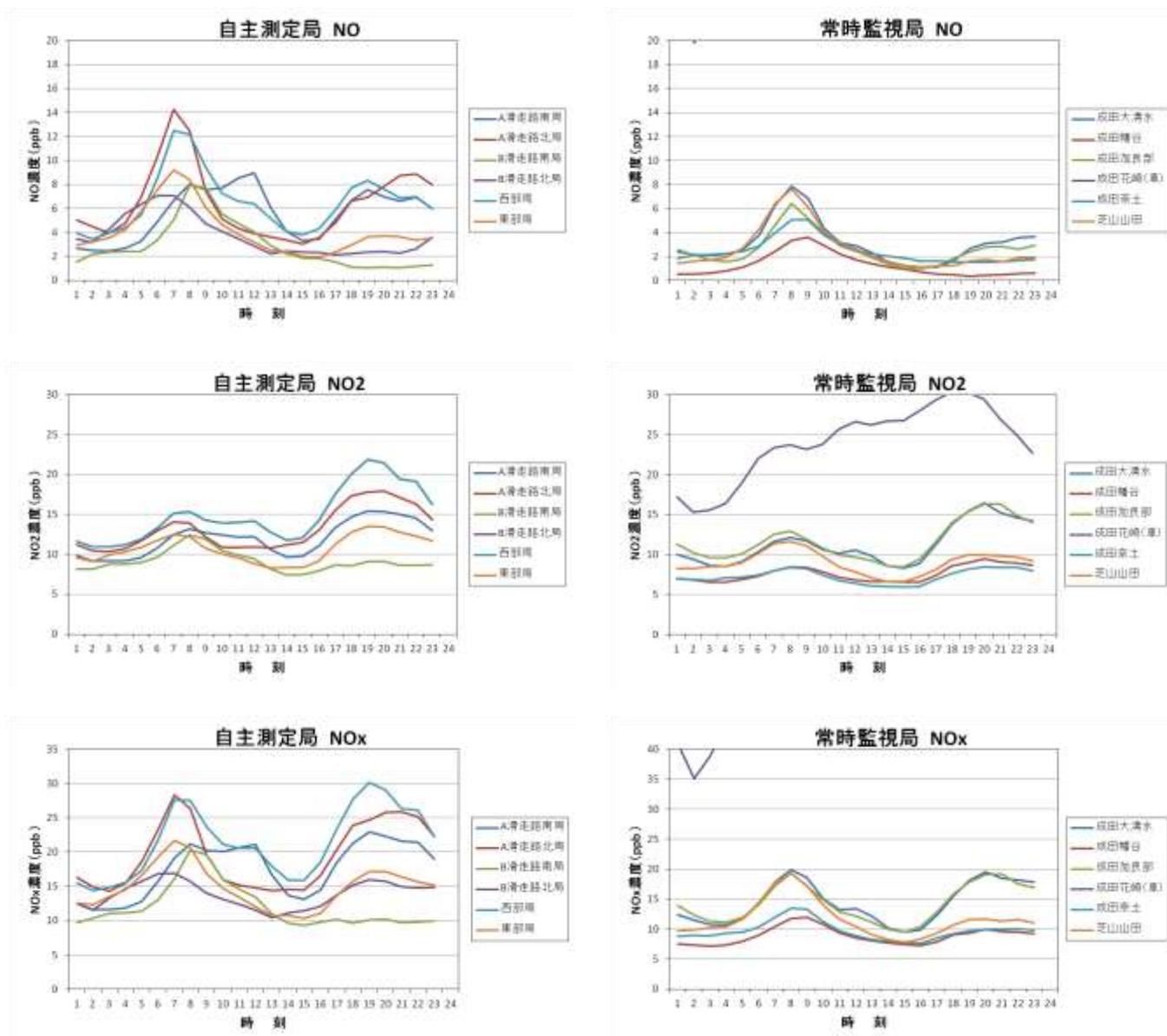


図 2-11 成田国際空港自主測定局及び周辺の常時監視局の 2008 年度大気汚染物質濃度の時間平均値 (上から順に、NO、NO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>)

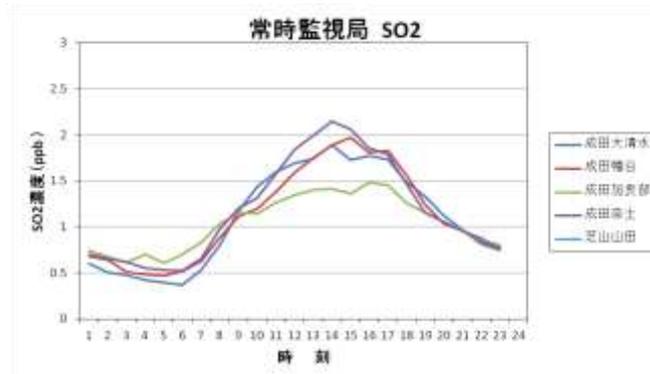
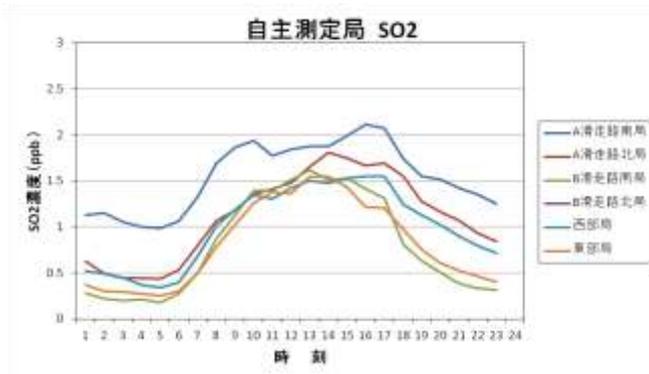
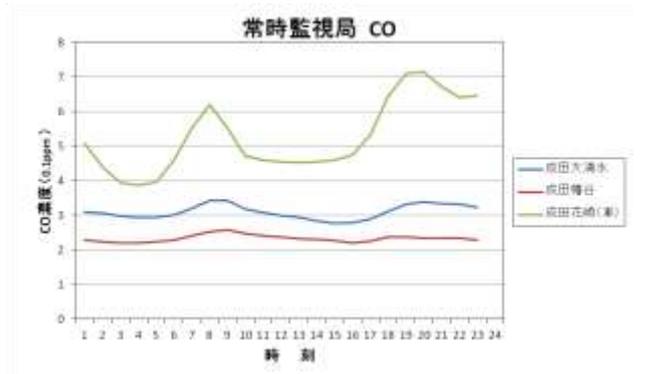
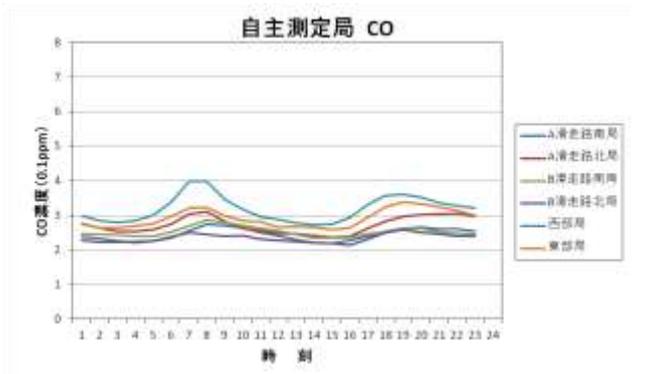
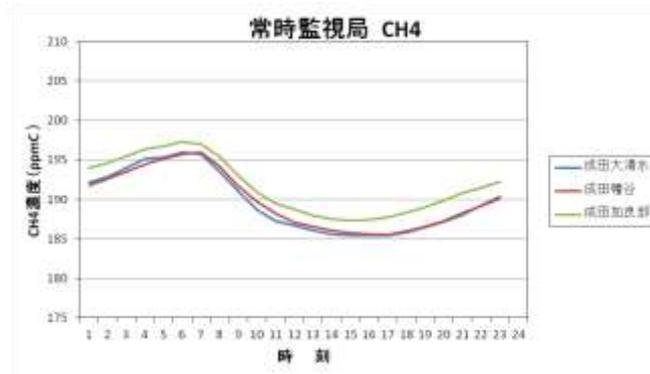
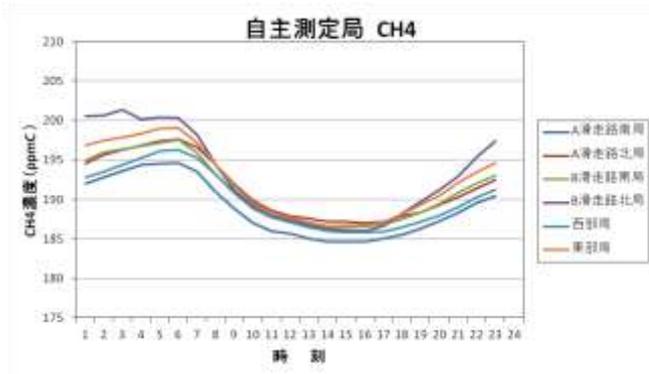
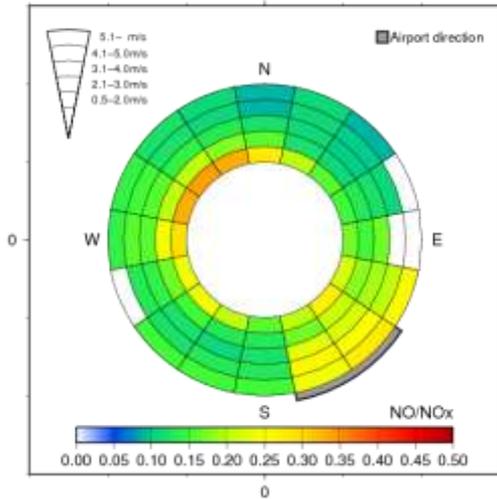
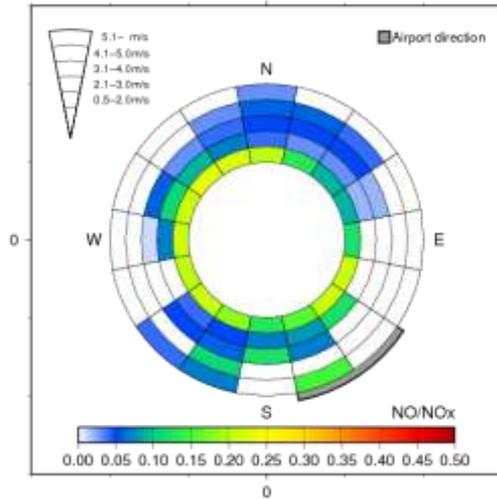


図 2-12 成田国際空港自主測定局及び周辺の常時監視局の 2008 年度大気汚染物質濃度の時間平均値(上から順に、CH<sub>4</sub>、CO、SO<sub>2</sub>、SPM)

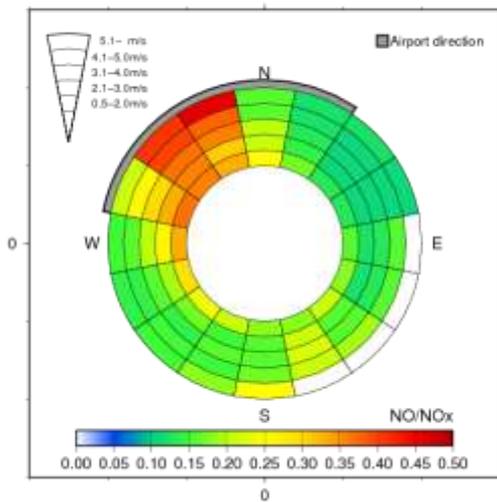
(a) A 滑走路北局における NO/NO<sub>x</sub> 運航時間 (6-23 時)



(b) A 滑走路北局における NO/NO<sub>x</sub> 運航時間外 (24-5 時)



(c) A 滑走路南局における NO/NO<sub>x</sub> 運航時間 (6-23 時)



(d) A 滑走路南局における NO/NO<sub>x</sub> 運航時間外 (24-5 時)

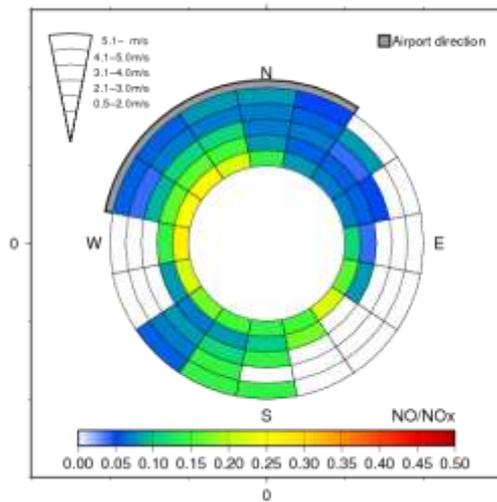
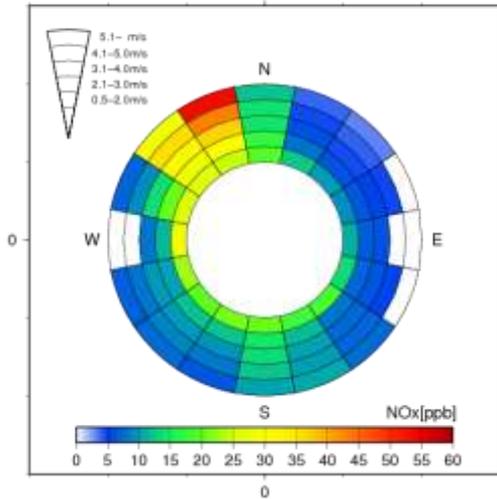
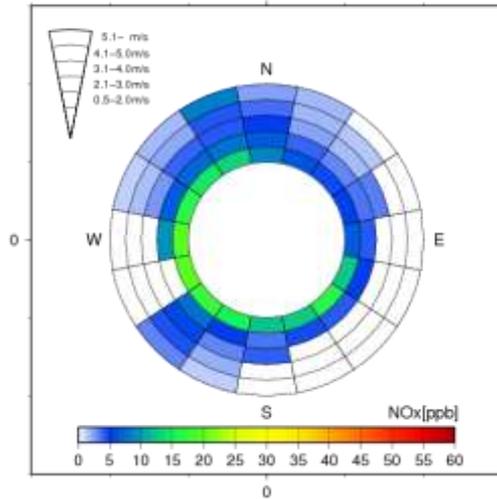


図 2-13 2001 年～2009 年の A 滑走路北局における風向・風速別 NO/NO<sub>x</sub> 比 ((a)運航時間内、(b)運航時間外) および A 滑走路南局における風向・風速別 NO/NO<sub>x</sub> 比 ((c)運航時間内、(d)運航時間外)

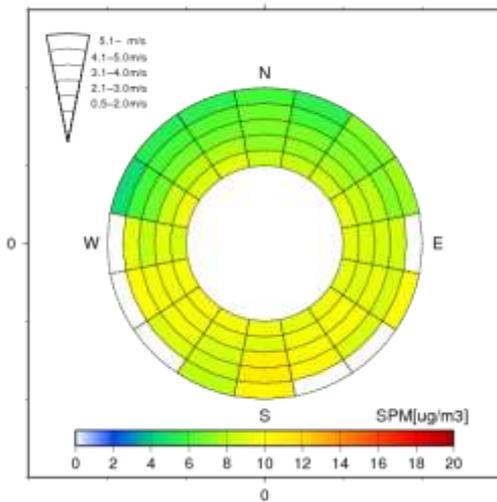
(a) 局所濃度 (NO<sub>x</sub>)  
運航時間 (6-23 時)



(b) 局所濃度 (NO<sub>x</sub>)  
運航時間外 (24-5 時)



(c) 局所濃度 (SPM)  
運航時間 (6-23 時)



(d) 局所濃度 (SPM)  
運航時間外 (24-5 時)

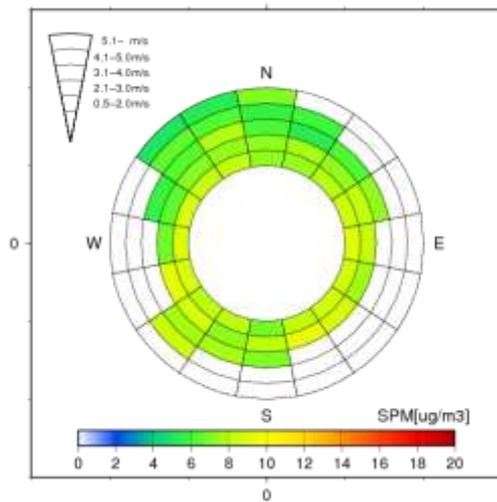


図 2-14 2001 年～2009 年の成田国際空港 A 滑走路における風向・風速別 NO<sub>x</sub> 局所濃度 ((a) 運航時間内、(b) それ以外) および SPM 局所濃度 ((c) 運航時間内、(d) それ以外)

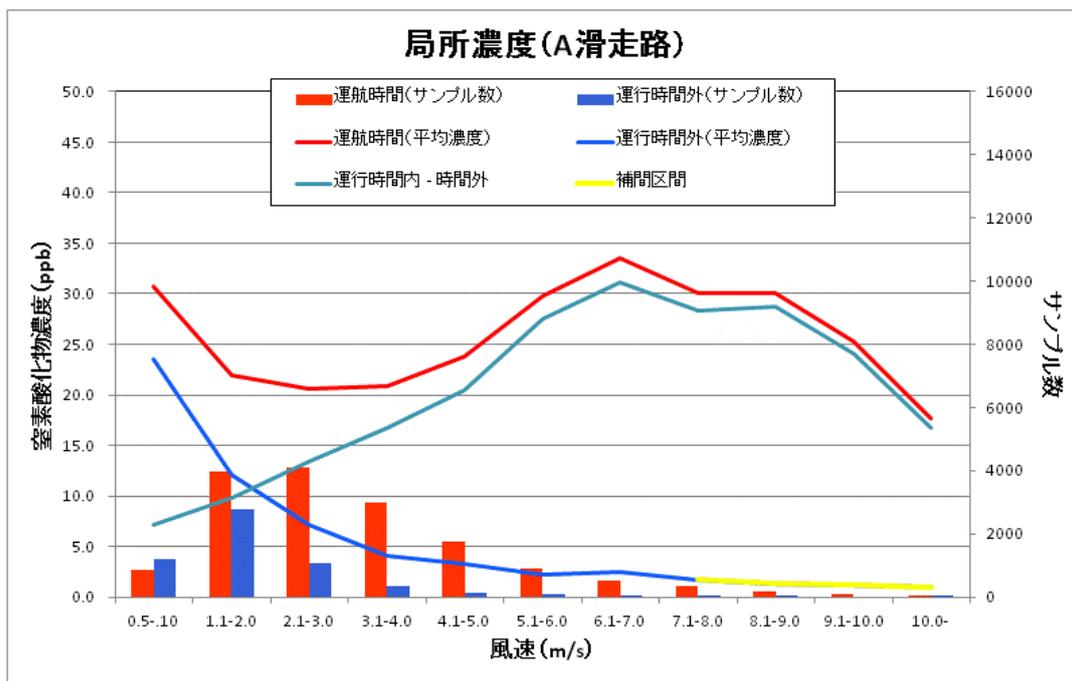


図 2-15 成田国際空港 A 滑走路における風速別局所濃度 (NO<sub>x</sub>)

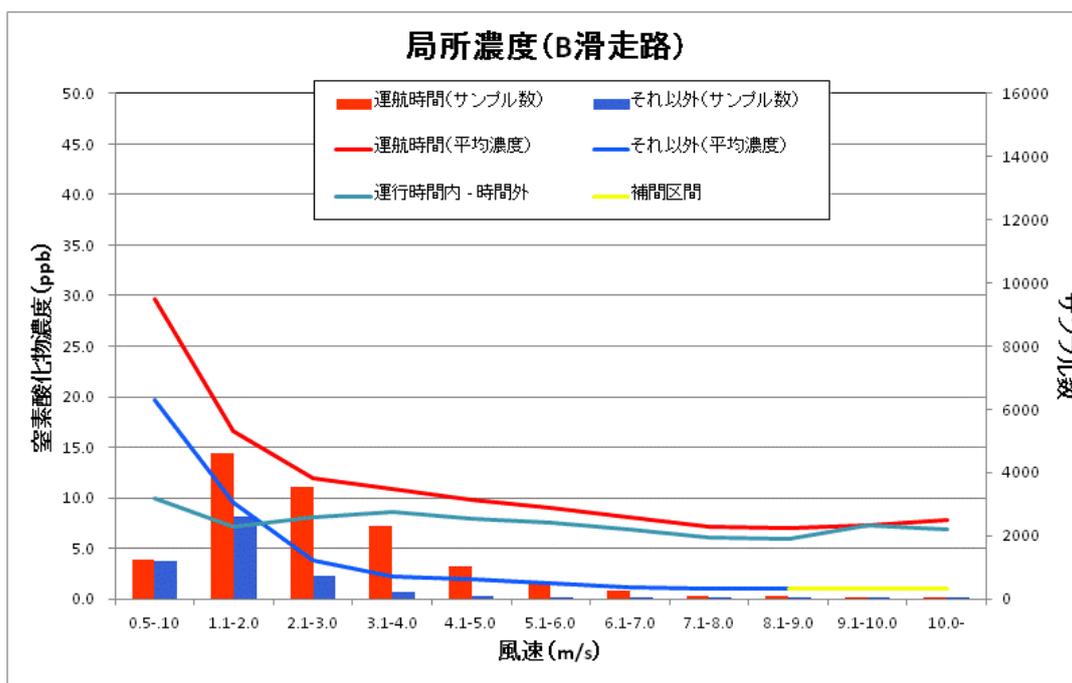


図 2-16 成田国際空港 B 滑走路における風速別局所濃度 (NO<sub>x</sub>)

### 2.3.5 まとめ及び今後の課題

成田国際空港を対象に、空港周辺のモニタリングデータ(自主測定局測定値、常時監視局測定値)を用いて解析を実施し、以下の知見を得た。

- 自主測定局の測定値と空港周辺の常時監視局測定値の比較を行なった結果、NO 及び NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub> に顕著な違い見られた。NO は全体的に自主測定局(特に滑走路直近の局)の濃度が高く、16時以降、周辺の常時監視局には見られない顕著な濃度上昇が見られた。NO<sub>2</sub>も同様に16時以降、滑走路直近の測定局で比較的高濃度となる傾向が見られた。SO<sub>2</sub>はA滑走路北局で終日高くなる傾向が見られた。それ以外の物質に関しては、両者とも近い値となった。
- 滑走路方向から風が吹く際に、顕著なNO/NO<sub>x</sub>比率の上昇が見られた。また、比率は風速に比例して大きくなる傾向が見られた。これらの原因としては、風速が大きいほど航空機排ガス起源のNOが酸化する前に測定地点に到達することによるものと考えられる。従って、NOは航空機排ガスを評価する際の指標として適していることが示唆された。
- 滑走路を通過する航空機から排出された汚染物質の寄与を大まかに把握するため、滑走路の両端の測定局の濃度差をとった(局所濃度)。その結果、NO<sub>x</sub>濃度は、滑走路方向に沿った風向の時に30～50ppb程濃度が高くなっており、特に、風速が大きい程その影響は顕著である。
- 風速別に着目してデータを集計した結果、運航時間内の局所濃度は、風速4.0m/s以上になると風速に比例して上昇する傾向が見られた。それに対して、運航時間外は、風速に反比例して濃度が小さくなる傾向が見られた。従って、NO<sub>x</sub>は風速によって航空機排ガスとそれ以外とを分類できる可能性があることが示唆された。

以上の結果より、航空機の排出ガスは、周辺の大気環境にある程度影響を与える可能性があることが示唆された。一方で、以下の点が課題として挙げられる。

#### ① 測定地点

既存の観測地点は、排出源から数百m程度離れており、場合によっては航空機以外の排出源の影響を受けている可能性がある。従って、より排出源に近い位置にて調査を行うことが望ましい。

#### ② 測定物質の時間分解能

航空機排ガスを含んだ空気塊が測定地点を通過する時間は数分程度であり(図2-17中のスパイク状のピーク)、1時間平均では正確にその影響を捉えられていない可能性がある。

### ③ 微小粒子状物質の測定

近年、国外における航空機排ガスを対象とした実測調査において、航空機から大量の微小粒子が放出されているとの報告がなされている(Zhu et al., 2011<sup>3)</sup>)。他方、国内においても、2009年にPM2.5の環境基準が制定されたが、国内における測定結果はまだ不足しており、特に航空機を対象とした調査は、ほとんど実施されていない。

次節2.4では、これらの課題を補うため、成田国際空港内及び周辺にて実測調査を実施した結果を示す。

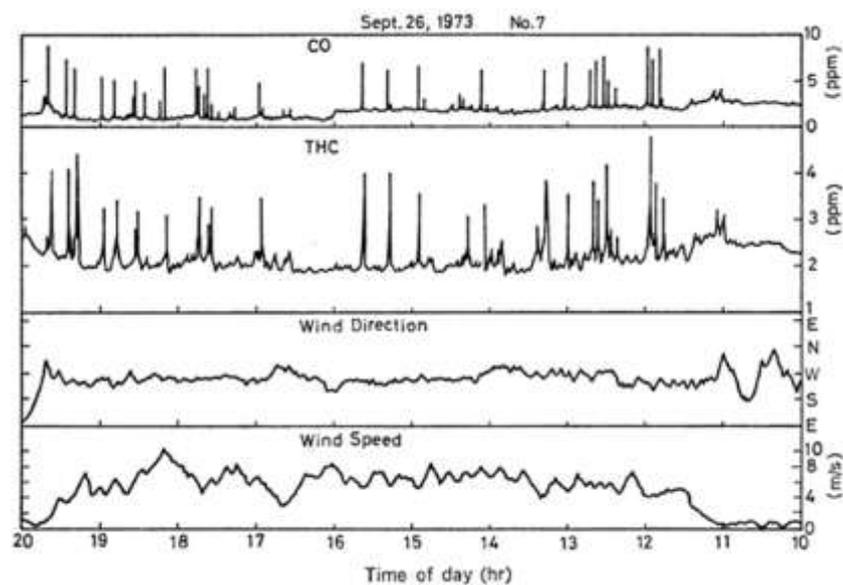


図 2-17 大阪国際空港におけるCO及びTHC濃度と風の比較(西・沢田,1977)<sup>4)</sup>

3) Yifang Zhu, Elinor Fanning, Rong Chun Yu, Qunfang Ahang, John R. Froines,(2011), Aircraft emissions and local air quality impacts from takeoff activities at large International Airport, Atmospheric Environment, 45, 6526-6533.

4) 西 亮, 沢田 照夫 (1977), 航空機排ガスによる大阪国際空港近傍の大気汚染, 大気汚染研究 第12巻 第4号 216-225.

## 2.4 成田国際空港における実測調査

### 2.4.1 実測調査の概要

本調査では、航空機排ガスが周辺の大気環境に与える影響を把握するため、成田国際空港を対象に、空港内(地点 1:A 滑走路中央付近の西側 140m)及び空港周辺(地点 2:A 滑走路の東側約 2300m)にて実測調査を実施した。

#### ① 調査期間

2011年12月15日(木)0時～12月21日(水)13時まで(連続6.5日間)。

#### ② 実測地点

本調査では成田国際空港内の A 滑走路中央付近西側(地点 1)と、空港周辺の菱田共同利用施設(地点 2)の 2カ所に設置した(図 2-18)。地点 1 の周辺の写真を図 2-19 に示す。地点 1 は、A 滑走路の端からおよそ 140m の距離に位置し、滑走路との間に遮蔽物は無い。地点 2 の写真を図 2-20 に示す。地点 2 は芝山市の菱田共同利用施設に設置し、A 滑走路の西側約 2300m、A 滑走路の西側の空港関連施設から約 930m、成田国際空港ターミナルから南南東に約 1500m の地点に位置する。菱田小学校に隣接しており、周辺に交通量の多い道路等の顕著な排出源は無い。成田国際空港に着陸する航空機が低い高度を通過する(図 2-20 中右)。



出典: Google Map

図 2-18 実測地点及び測定局配置図(地点1:成田国際空港内、A 滑走路中央付近西側、  
地点2:成田国際空港外、空港ターミナル南南東)



航空写真(上)出典:Google Map

図 2-19 地点 1: 空港内測定地点の写真  
(上: 航空写真、中: 地点 1 と滑走路、下: 測定小屋詳細)



航空写真(上)出典:Google Map

図 2-20 地点 2:空港外菱田共同利用施設の写真  
 (上:航空写真、中左:地点 2 西側、中右:地点 2 東側、下:測定小屋)

### ③ 測定項目

本実測調査における測定項目及び時間分解能を表 2-8 に示す。NO・NO<sub>2</sub>計、CO計、NMHC計、風向・風速計、両地点に同型の装置を設置した。PM2.5計は、地点1と地点2で設置した装置が異なり、また、地点2の装置は環境省の並行試験に合格した測定器ではないため、測定値を解析に使用するには、参考にした補正式を用いて補正した値を使用した。地点1は、上記に加え、粒径別の粒子数分布を測定するため SMPS を設置し、さらに、測定地点の前を航空機が通過する正確な時刻を得るためビデオカメラを設置し撮影を行った。

地点1のPM2.5計は、1時間値に加え、1分値を測定した。また、地点1のNMHC計は事情により12月17日のみ測定を実施した(地点2に関しては全期間取得)。

表 2-8 各実測地点における調査項目及び時間分解能

地点	測定項目		時間分解能
地点1 成田国際空港内 A滑走路中央付近 西側約140m	NO	ppm	1時間値
	NO <sub>2</sub>	ppm	1時間値
	CO	ppm	1時間値
	NMHC	ppmC	1時間値
	PM2.5重量濃度	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1時間値(1分値)
	風向・風速	—	1時間値
	粒径別粒子数分布	個	3分値
地点2 成田国際空港外 菱田共同利用施設 空港ターミナルの南側 約1,500m	NO	ppm	1時間値
	NO <sub>2</sub>	ppm	1時間値
	CO	ppm	1時間値
	NMHC	ppmC	1時間値
	PM2.5重量濃度	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1時間値
	風向・風速	—	1時間値

## 2.4.2 事例解析:2011年12月16日

ここでは、測定結果の傾向を把握するため、バックグラウンド濃度が小さく、かつ、滑走路方向から地点1に向かって風が吹いていたことから、航空機排ガスの影響を捉えている可能性の高いと考えられる2011年12月16日を対象に解析を行った結果を示す。

### ① 気象状況及び汚染物質濃度の状況

12月16日は典型的な西高東低の冬型の気圧配置であり、全国的に気温が低く、乾燥した一日となった。AMeDAS成田における気温及び10分間平均風速の日変化を図2-21に示す。日中は晴れて穏やかな天気となり、気温も約12度まで上昇したが、午後2時頃から次第に雲が出始め、風速が大きくなり、気温も下降している。

図2-22に気象庁客観解析データ(MSM-S)の関東地方の風況を示す。午前9時頃から日本海側に北西の強い風が入り始め、関東平野西側から北北東にかけて風のシアラインが見られる。この強い北西風が徐々に関東平野に侵入しはじめ、15時には北関東で北北西から北の風が卓越し、その後、18時頃に一旦風が弱まるが、東北地方を迂回した強い北西風が太平洋から回り込むように関東平野沿岸に吹いている。

図2-23に関東地方における汚染物質濃度(常時監視局のうち一般局測定値(速報値)をメッシュ化)の日変化を示す。午前6時から9時にかけて神奈川県南東部で濃度が上昇し、約130ppbとなっている。その後、東京都の湾岸で15時頃までNO<sub>x</sub>濃度が高く、その後、次第に濃度が低下している。成田国際空港周辺においては、顕著な日変化は見られず、東京湾沿岸や都心部に比べて終日低い濃度(約20ppb)となっている。

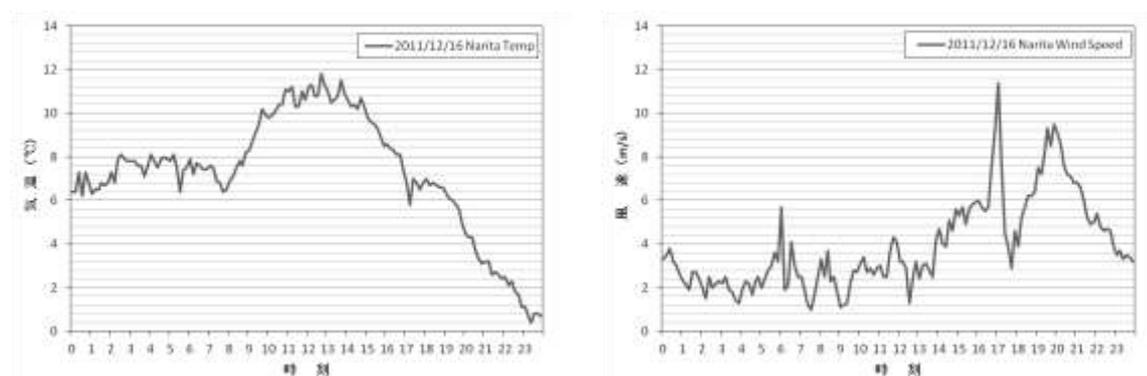


図 2-21 AMeDAS 成田における 2011 年 12 月 16 日の気温(左)及び風速(右)

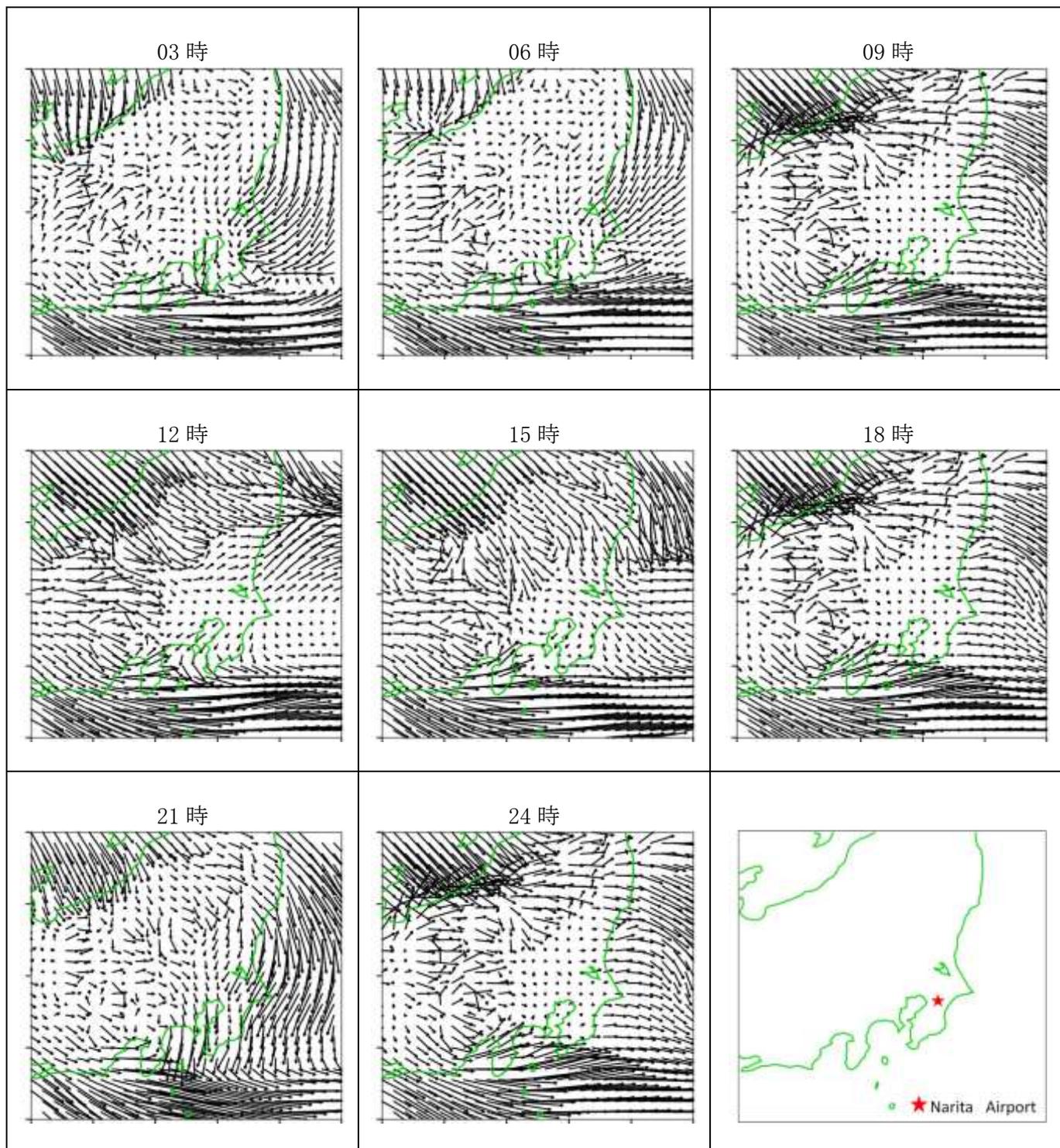


図 2-22 2011 年 12 月 16 日の気象庁客観解析データによる関東地方の風況

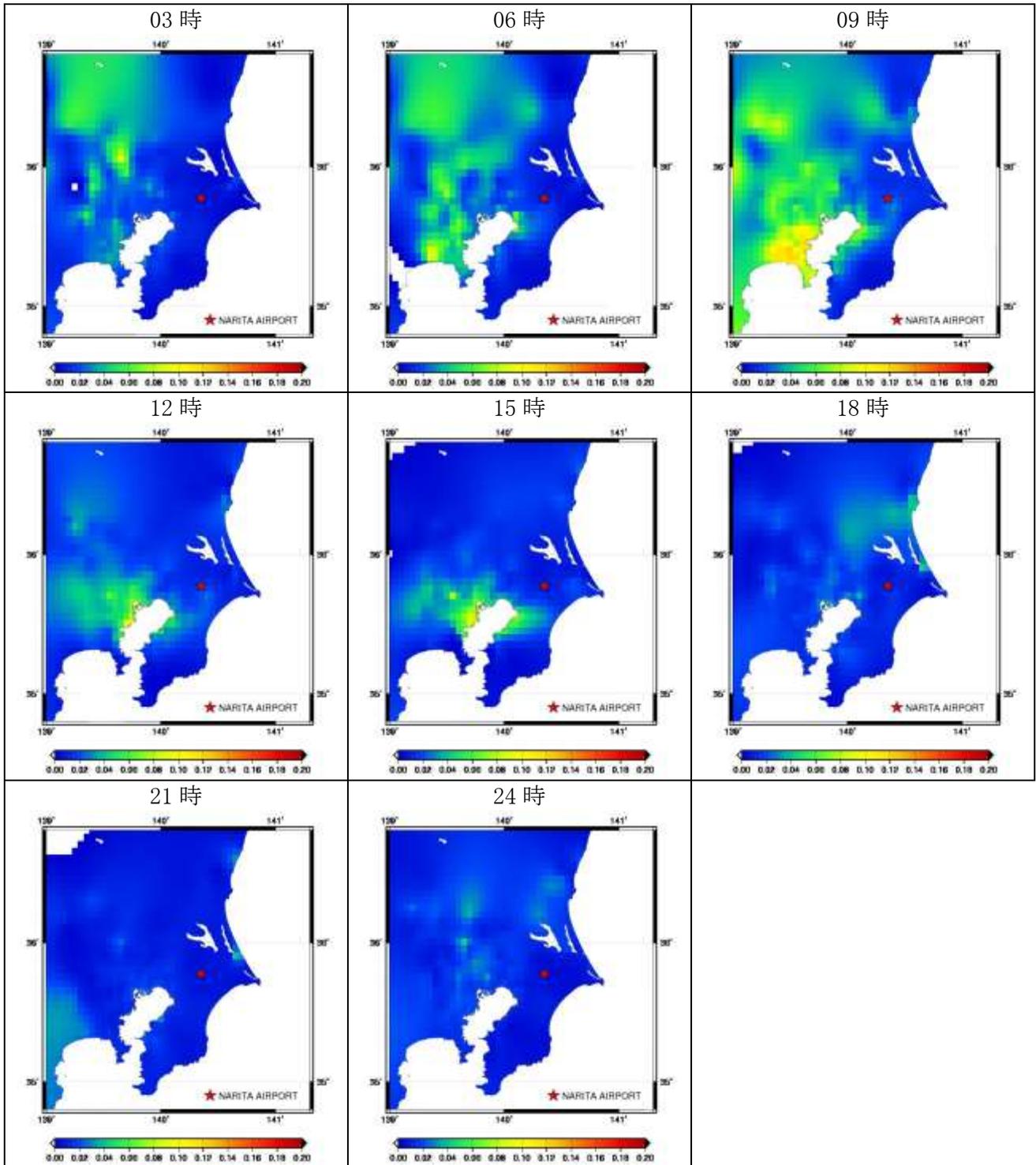


図 2-23 2011 年 12 月 16 日の関東地方における NO<sub>x</sub> 濃度  
(図中の★が成田国際空港を示す)

## ② 航空機排出ガスの影響評価

### ア) NO、NO<sub>2</sub>濃度

前節に示したモニタリングデータの詳細解析結果より、風向・風速によっては滑走路内のNO濃度及びNO<sub>2</sub>濃度が高くなり、周辺の大気環境に影響を与える可能性があることが示唆された。一方、本実調査では、滑走路の直近(地点1、滑走路から直線距離で140m)にて測定を実施したため、既存のモニタリングデータよりも、より顕著に航空機排出ガスの影響を抽出できる可能性がある。

12月16日の地点1及び地点2のNO、NO<sub>2</sub>濃度(1時間値)を図2-24及び図2-25に示す。地点2は、8-9時にピークが見られるが、終日地点1に比べて濃度が低く、地点1に見られる午前10時以降のNO濃度の上昇トレンドも見られない。日平均濃度(表2-9)で見ても、地点1に対して地点2の濃度が低いことから、ここでは、地点1のバックグラウンドの値として、地点2の測定値(図2-25)を用いることとする。

地点2バックグラウンドを差し引いた地点1のNO濃度及びNO<sub>2</sub>濃度の日変化と地点1の風の日変化を図2-26に示す。地点1では、午前10時までは、滑走路方向と反対側からの風が吹いており、NO及びNO<sub>2</sub>濃度が低い値となっている。11時以降、滑走路方向(北～北東風)が卓越し始めると同時に、NO濃度及びNO<sub>2</sub>濃度が上昇し、特にNO濃度の上昇が顕著である。滑走路方向からの風が卓越している時間帯(11-24時)と、それ以外の時間帯(1-10時)における平均濃度を見ると、前者の方が、NOは18.7ppb、NO<sub>2</sub>は10.5ppb高い値となった。また、NOとNO<sub>x</sub>の比率で見ると(図2-27)、滑走路方向からの風が吹き始めて以降のNOの占める割合は、60.5%と高い値となっている。

表2-9 地点1、地点2におけるNO、NO<sub>2</sub>濃度の平均値

地 点	NO(ppb)		NO <sub>2</sub> (ppb)	
	平均	最大	平均	最大
地点1	12.8	33.0	16.9	26.0
地点2	1.9	11.0	7.5	19.0
地点1-地点2 (地点2をバックグラウンドとした場合)				
1日(1-24時)	11.3	30.0	9.5	20.0
1-10時	0.4	2.0	3.4	11.0
11-24時	19.1	30.0	13.9	20.0

注1:地点1-地点2の平均値は1時間値の差をとった後、平均した値を示す。マイナスになった場合は0とした。

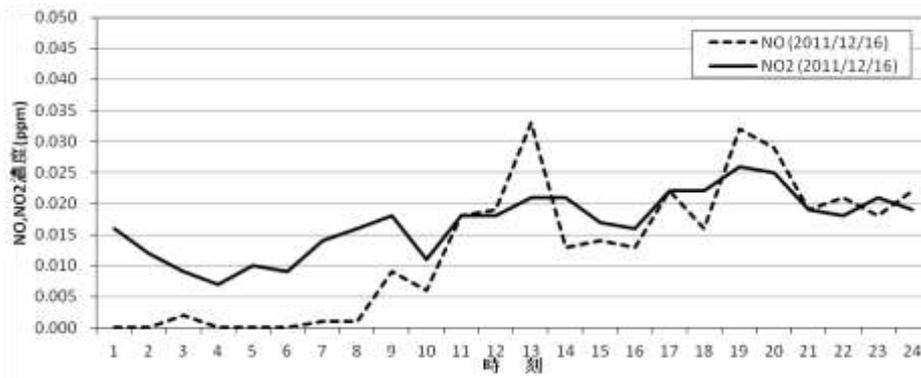


図 2-24 地点 1 における NO、NO<sub>2</sub>濃度(2011 年 12 月 16 日)

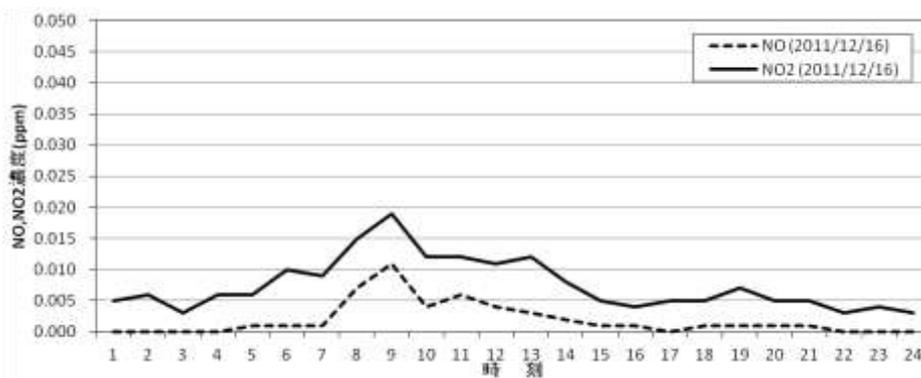


図 2-25 地点 2 における NO、NO<sub>2</sub>濃度(2011 年 12 月 16 日)

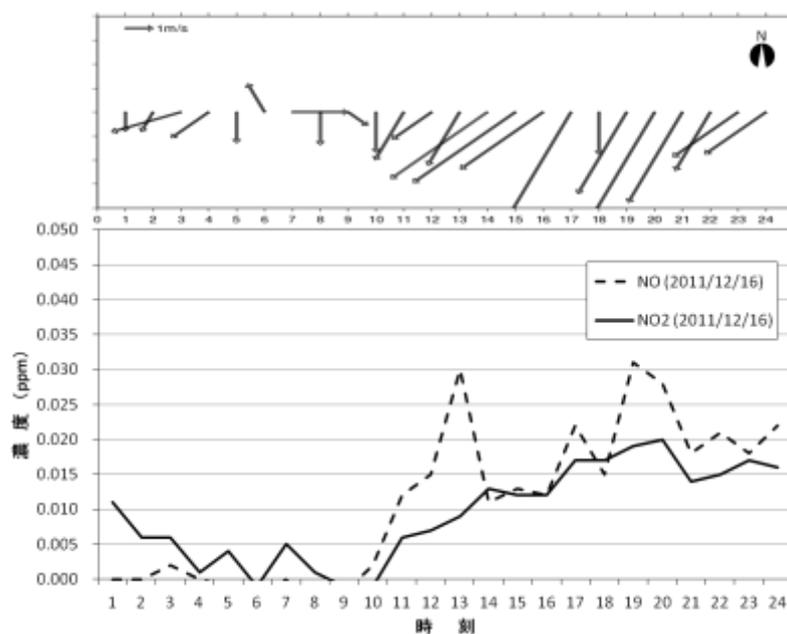


図 2-26 地点 1 における風(上)と NO 及び NO<sub>2</sub>濃度(下)の日変化  
(地点 2 の測定値をバックグラウンドとして差し引いた値)

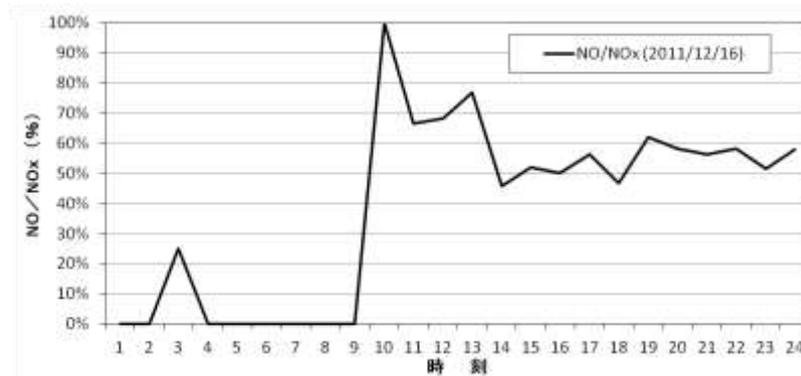


図 2-27 地点 1 における NO/NO<sub>x</sub> 比の日変化  
(地点 2 の測定値をバックグラウンドとして差し引いた値の比)

### イ) 粒子状物質 (PM2.5、粒径別粒子数)

2012 年 12 月 16 日の地点 1 における PM2.5 濃度(1 分値)及び風の日変化を図 2-28 に示す。NO、NO<sub>2</sub> のように、11 時以降に滑走路方向からの風が吹いても顕著な変化は見られない。そこで、風速に着目し、データを見ていくこととする。PM2.5 濃度は、13-14 時にかけて 4.9m/s の強い北西風が吹いた際に約 6 μg/m<sup>3</sup>、16-17 時にかけて約 7.5m/s の強い北北西の風が吹いた際に約 17 μg/m<sup>3</sup> 上昇している。16 時以降、平均 4.5m/s 以上の強い風が吹いており、その間平均 15.5 μg/m<sup>3</sup> と高い値となっている。

上記結果から、風向・風速の変化に着目しデータを、Gr1:滑走路方向以外の風向(0:00~9:59)、Gr2:滑走路方向から弱風(10:00~12:59)、Gr3:滑走路方向から強風(13:00~22:00)にグループ分けし、比較を行った。各時間帯の平均 PM2.5 濃度及び風速を表 2-10 に示す。滑走路方向から風が吹いていても、風速が大きい Gr3(平均風速 4.7m/s)と、小さい Gr2(平均風速 2.6m/s)とで、PM2.5 濃度に顕著な差があり、前者の方が 10.7 μg/m<sup>3</sup> 高い値となった。

一方、航空機の航行終了時刻である 23 時以降、濃度が下がっていることから、13 時から 23 時にかけての濃度上昇は、航空機排ガスに対応していると考えられ、これらの濃度上昇は風速に強く依存する可能性があることが示唆された。

図 2-29 に地点 1 における時間別、粒径別の粒子数分布を示す。航空機の運航時間外である 0 ~6 時は粒子数が少なく、1000 個/cm<sup>3</sup> のオーダーであった。一方、NO 濃度の上昇が見られた 10 時以降、粒子数が増加しはじめ、PM2.5 の急激な濃度上昇が見られた 16 時~17 時には、ピーク粒径(0.016 μm)の 1 時間積算値が約 450 万個に達しており、近年の幹線道路沿道での観測地より1桁から2桁ほど高い値となっている。

表 2-10 地点 1 における PM2.5 濃度及び風の平均値

グループ (時間帯)	地点 1 の 風向き	PM2.5 (μg/m <sup>3</sup> )		風速 (m/s)	
		平均	最大値	平均	最大値
Gr1 (0:00~9:59)	その他 <sup>注</sup>	2.8	18.3	1.7	2.7
Gr2 (10:00~12:59)	滑走路方向	1.6	2.3	2.6	3.3
Gr3 (13:00~22:00)	滑走路方向	12.3	31.3	4.7	7.6
1 日 (0:00~23:59)	-	6.6	31.3	3.2	7.6

注: 地点 1 の風向きの「その他」は、滑走路方向 (ESE、E、ENE、NE、NNE) 以外のすべての風向の場合とする。

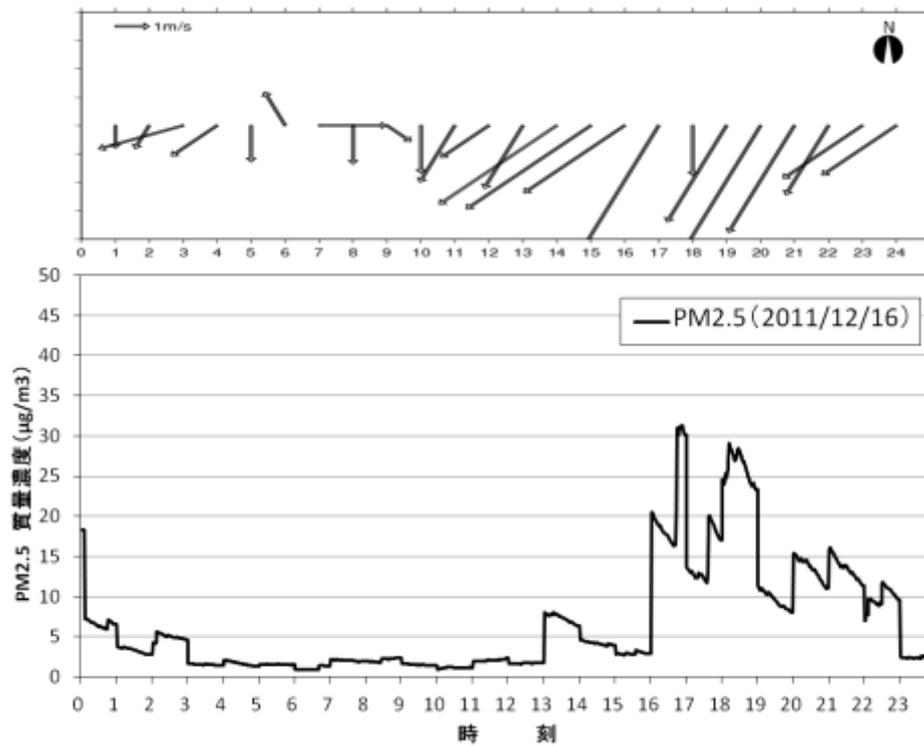


図 2-28 地点 1 における風(上)とPM2.5 濃度一分値(下)の日変化

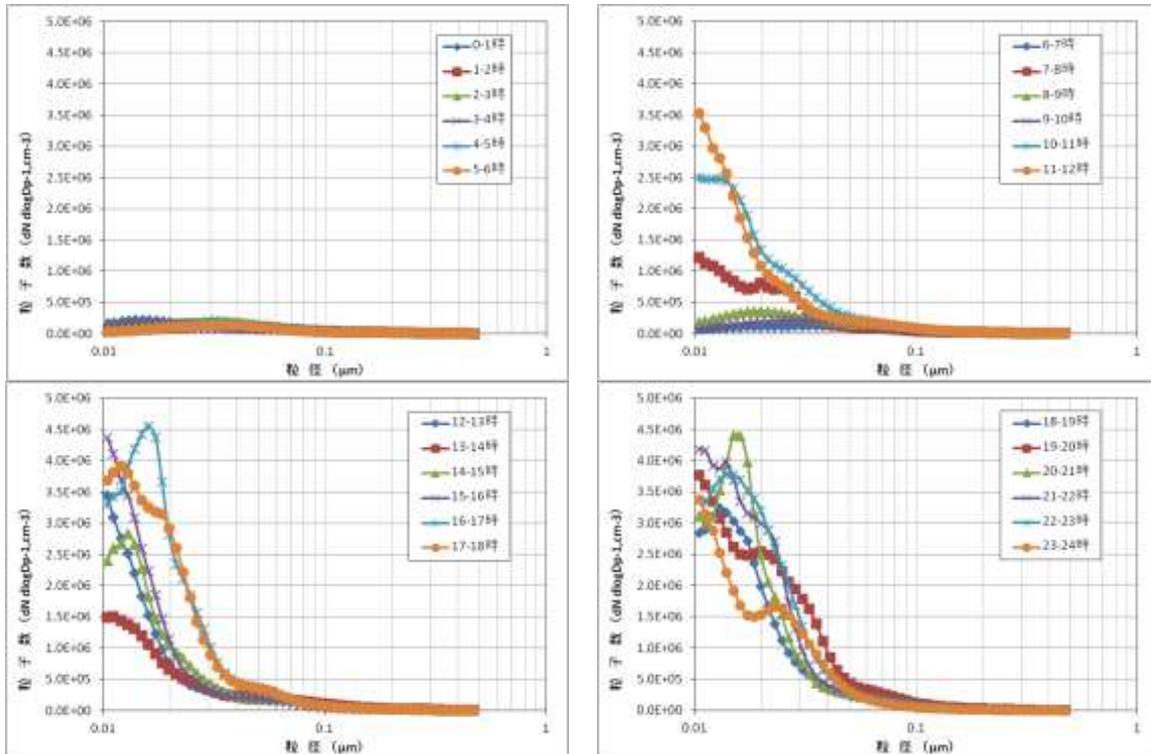


図 2-29 地点 1 における粒径別粒子数分布(1 時間積算値)

### 2.4.3 実測期間中の汚染物質濃度(日平均値)

ここでは、実測期間中(2011年12月15日～12月21日)の、空港周辺の汚染物質状況を確認するため、本調査における実測地点測定値(2地点)、自主測定局測定値(6地点)、常時監視局の測定値(速報値が得られた一般局3地点)のNO<sub>2</sub>及びPM2.5(地点1のみ)濃度の比較を行うとともに、環境基準達成状況を確認した。

表2-11及び表2-12にNO<sub>2</sub>濃度、NO濃度、PM2.5濃度の日平均値を示す。滑走路直近の実測地点及びモニタリングサイトのNO<sub>2</sub>濃度は、周辺の常時監視局とほぼ同程度の濃度レベルであり、逆に空港外の常時監視局(一般局)の芝山山田が最も高い値となっている。従って、航空機排ガスはNO<sub>2</sub>濃度にそれほど影響を与えていないものと考えられる。NO<sub>2</sub>濃度は、最も高濃度となった12月15日の芝山山田の日平均値でも52ppbであり、全期間中、全モニタリングサイトにて環境基準(表2-13)を達成している。それに対して、NO濃度は、滑走路直近の地点1及びA滑走路北局で周辺の常時監視局に比べて濃度が高く、これらの地点では、日によっては日平均で40ppbを超えた日もあった。

地点1のPM2.5濃度は、実測期間中の平均値が13μg/m<sup>3</sup>であり、平成22年度の常時監視局全国平均値(一般局:15.1μg/m<sup>3</sup>、自排局:17.2μg/m<sup>3</sup>)よりも低い値であった。年平均値ではないため参考値となるが、環境基準値以下である(表2-13)。最も高濃度となった12月15日の日平均値は、31.3μg/m<sup>3</sup>(98パーセンタイル値は30.5μg/m<sup>3</sup>)であり、1日平均値の環境基準は達成しているものの、他の測定日と比べて著しく高い値となった。

表2-11 各モニタリング地点におけるNO<sub>2</sub>濃度の日平均値

日時	NO <sub>2</sub> (ppb)										
	地点1	地点2	A滑走路北	A滑走路南	B滑走路北	B滑走路南	西部局	東部局	成田加良部	成田奈土	芝山山田
2011/12/15	29	26	29	30	23	28	31	25	31	21	52
2011/12/16	17	8	12	13	5	9	18	11	8	6	14
2011/12/17	13	17	16	16	9	20	17	15	12	7	27
2011/12/18	20	14	18	19	11	16	22	19	17	9	21
2011/12/19	18	8	19	17	11	10	19	15	16	12	27
2011/12/20	20	15	20	23	15	19	23	18	19	14	35
2011/12/21	20	12	22	24	12	17	23	17	20	12	29
平均	19	14	20	20	12	17	22	17	18	11	29

表 2-12 各モニタリング地点における NO 濃度、PM2.5 濃度の日平均値

日時	NO (ppb)											PM2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
	地点 1	地点 2	A滑 走路 北	A滑 走路 南	B滑 走路 北	B滑 走路 南	西部 局	東部 局	成田 加良 部	成田 奈土	芝山 山田	地点 1
2011/12/15	34	21	37	27	14	24	39	19	23	10	26	31
2011/12/16	13	2	5	4	1	3	6	5	2	2	11	7
2011/12/17	8	12	21	10	5	10	13	8	3	2	16	5
2011/12/18	19	9	14	10	5	12	14	10	4	2	15	12
2011/12/19	23	3	41	22	7	4	32	18	12	3	13	12
2011/12/20	42	12	32	30	10	15	31	18	12	4	20	18
2011/12/21	20	5	19	16	4	7	15	7	7	4	18	10
平均	23	9	24	17	7	11	21	12	9	4	17	13

表 2-13 二酸化窒素及び微小粒子状物質の環境基準

物 質	環境上の条件
二酸化窒素( $\text{NO}_2$ )	1時間値の日平均値が 0.04ppm から 0.06ppm までのゾーン内又はそれ以下であること。
微小粒子状物質(PM2.5)	1年平均値が $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であり、かつ、1日平均値が $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であること。

#### 2.4.4 滑走路内の汚染物質の空間分布

12月16日を対象とした事例解析にて、本調査にて設置した滑走路直近の測定地点(地点1)では、滑走路方向から風が吹く際に、航空機排ガスの影響を顕著にとらえている可能性が高いことが確認された。ここでは、滑走路内で排出された汚染物質の空間分布を把握するため、地点1、A滑走路北局、A滑走路南局の測定値を用いて解析を実施した。

##### ① A 滑走路直近の NO、NO<sub>2</sub>、PM2.5 濃度

図 2-30 に実測期間中の NO 濃度、図 2-31 に NO<sub>2</sub> 濃度の 1 時間値を示す。NO<sub>2</sub> 濃度の日変化(図 2-31)を見ると、午前中と夕方から夜間にかけて二つ山のピークが見られるが、実測期間中高濃度になることはなく、環境基準を超える日も無かった(表 2-13)。一方、NO 濃度(図 2-30)は、NO<sub>2</sub> よりもシャープにピークが見られ、実測期間中最も高濃度となった 12 月 19 日の夜間には全測定地点で 130ppb 以上となっている。

NO が高濃度となる原因は、各実測地点が排出源に近いことによるものと考えられる。NO<sub>x</sub> 中の NO の占める割合は、時間経過とともに徐々に酸化して NO<sub>2</sub> となるため、排出源からの距離が離れるほど NO の比率は低くなる。従って、ここで示した NO は、距離の離れた地点に NO<sub>2</sub> として影響を与えている可能性がある。

バックグラウンド濃度には、地点 2 の測定値を用いた。バックグラウンド濃度を差し引いた、実測期間中の NO、NO<sub>2</sub> 濃度を図 2-32 及び図 2-33 に示す。NO<sub>2</sub> は全体的に低濃度になっており、実測期間中の濃度の時間変化は、バックグラウンドを差し引く前と大きな違いは見られない。それに対して、NO はスパイク状のピークがよりシャープになっており、滑走路内で排出された航空機排ガスの影響を受けている可能性が高い。

図 2-34 に地点 1 及び地点 2 の PM2.5 濃度の 1 時間値を示す。地点 2 の PM2.5 計は、環境省の並行試験に合格した機種では無いため章末の参考を示した方法で補正し、本調査では参考値とする。地点 1 と地点 2 の濃度は比較的近いレベルであり、実測期間中の時間変化も近い挙動を示している。

図 2-35 に地点 1 における、実測期間中の粒子数(3 分値)を示す。15 日の 17-22 時、16 日の 13-21 時等、一部の時間帯で特徴的なスパイク状のピークが見られる。

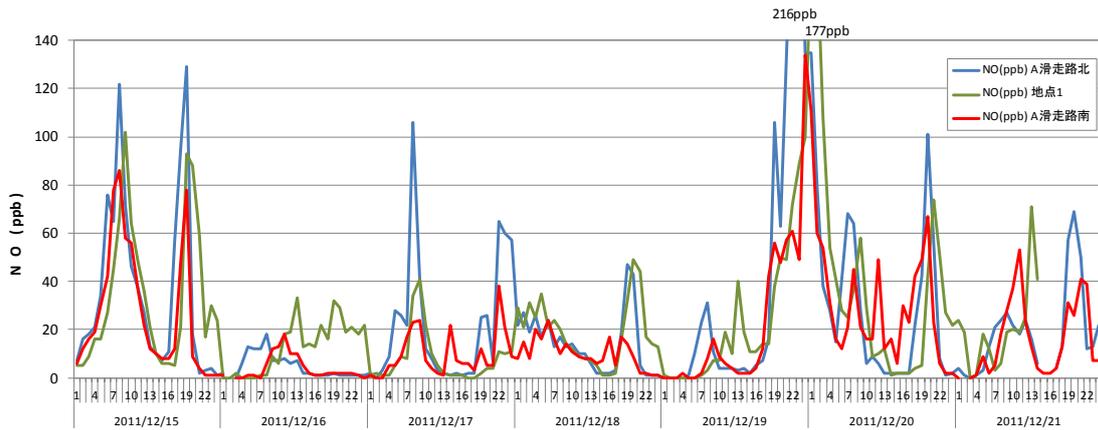


図 2-30 A 滑走路北局、A 滑走路南局、地点 1 における NO 濃度の 1 時間値

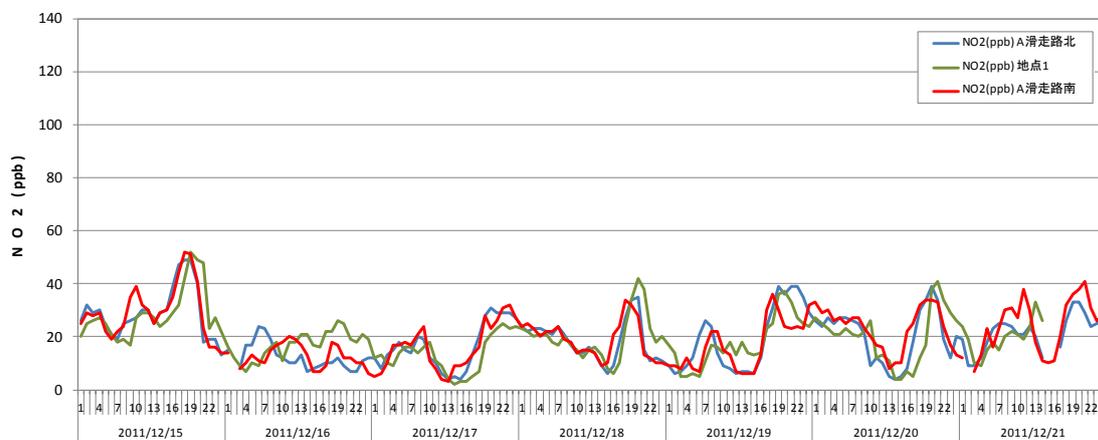


図 2-31 A 滑走路北局、A 滑走路南局、地点 1 における NO<sub>2</sub> 濃度の 1 時間値

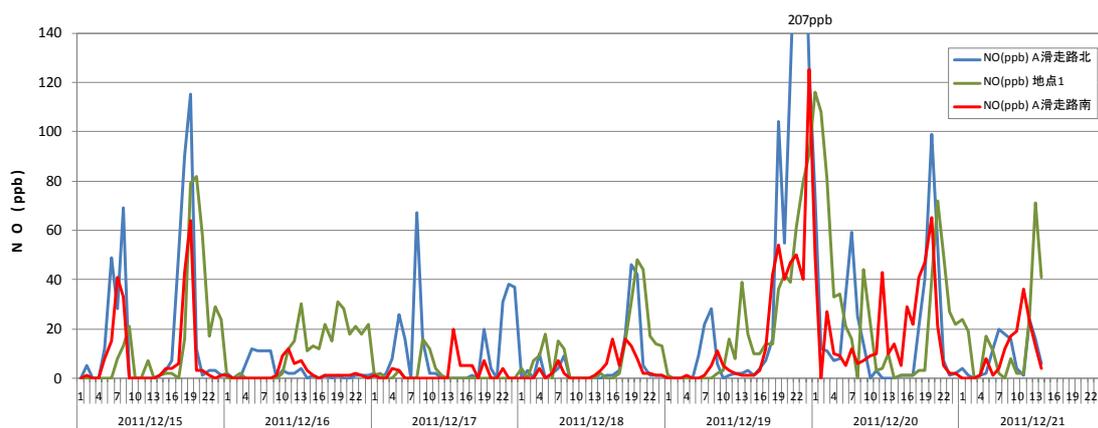


図 2-32 バックグラウンド濃度として地点 2 の値を差し引いた、A 滑走路北局、A 滑走路南局、地点 1 における NO 濃度の 1 時間値

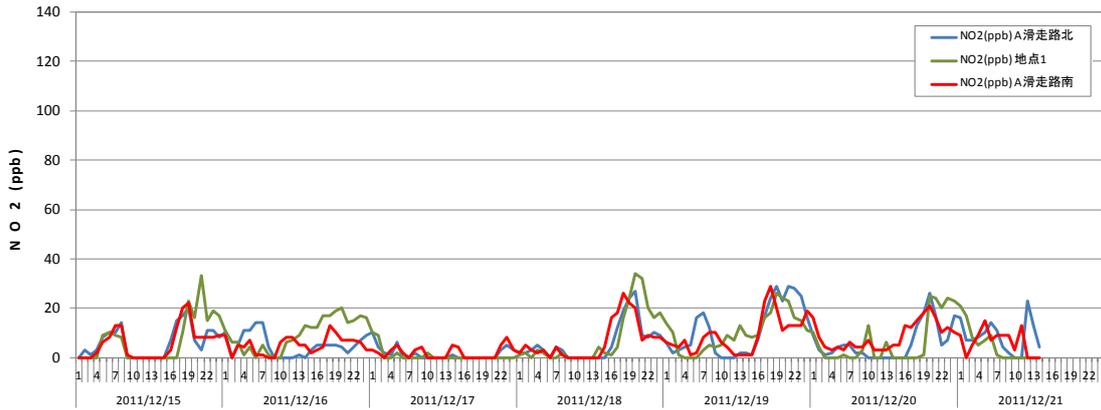


図 2-33 バックグラウンド濃度として地点 2 の値を差し引いた、A 滑走路北局、A 滑走路南局、地点 1 における NO<sub>2</sub> 濃度の 1 時間値

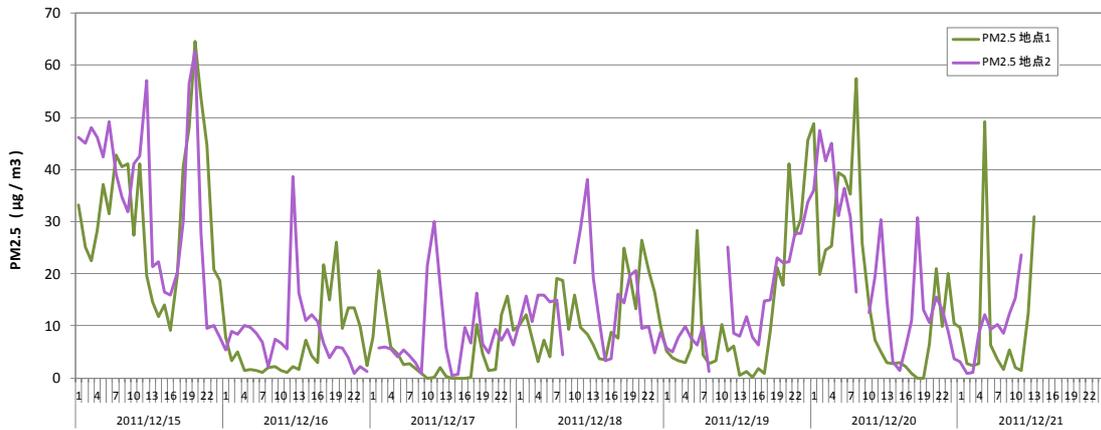


図 2-34 地点 1 及び地点 2 における PM2.5 濃度の 1 時間値

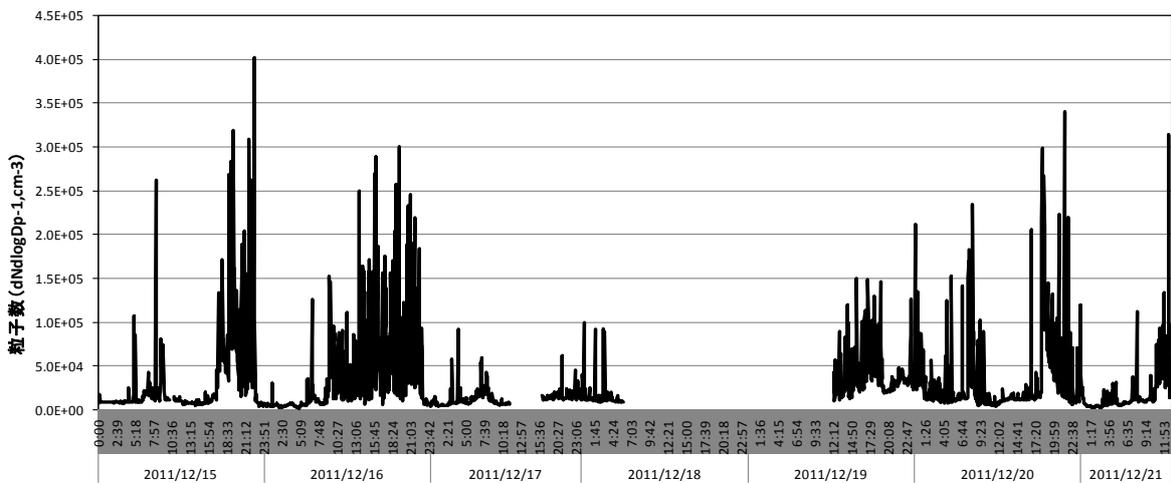


図 2-35 地点 1 における粒径別粒子数の 3 分値

## ② 風向別濃度解析

モニタリングデータの詳細解析結果及び、事例解析結果から航空機排ガス起源と考えられる汚染物質濃度は、風に強く依存することが明らかとなった。また、モニタリングデータの解析により、滑走路の南北の濃度を差し引く(局所濃度)ことで滑走路内の航空機排出による寄与濃度を把握できる可能性が示唆されたため、ここでも同様の解析を実施することとする。

図 2-36 に地点 1 における風向別 NO 濃度(1 時間値)、NO<sub>2</sub> 濃度(1 時間値)、PM2.5 濃度(1 分値)、粒子数(1 時間平均値)を示す。A 滑走路北局における NO 濃度は、滑走路に沿った方向である NNW の風が卓越する際に高濃度となっている。また、S、ESE の風が吹く際にも高濃度となっているが、これらはサンプル数が 1 個である。A 滑走路南局の NO 濃度は、全体的に濃度が低く、風向による違いが小さい。地点 1 の NO 濃度は、滑走路方向(NNE、BE、ENE、E)から風が吹く際に、高濃度となっており、これらは航空機排ガスに由来する可能性が高い。SSW の風が吹く際にも高濃度となっているが、サンプル数が 1 個であるため信頼性は低い。NO<sub>2</sub> 濃度に関して、おおよその特徴は各地点とも NO と同じであり、全体的に NO に比べて低濃度となっている。

地点 1 における PM2.5 濃度は、滑走路方向からの風(NE、ENE、E)が吹く際に比較的高濃度となっている。一方、WSW、SW、SSW の風が吹く際にも高濃度となっているが、サンプル数が 1 個であるため信頼性は低い。粒子数は、NO 及び PM2.5 濃度と同様に滑走路方向からの風(NNE、BE、ENE、E)が吹く際に高い値となっている。また、S、SSW の風が吹く際にも高濃度となっているが、サンプル数が少なく、信頼性は低い。

滑走路方向から風が吹く際に高濃度となる原因が航空機によるものかどうか確認するため、地点 1 に設置したビデオカメラの画像から判断した航空機の通過時刻と、粒子数との比較を行った。粒子数計は、時間分解能が 3 分であるため航空機排ガスプルームが地点 1 を通過する際の影響を捉えている可能性が高い。滑走路方向と反対方向の風(西～西北西)が卓越した 12 月 16 日 8～9 時(図 2-37(a))では、地点 1 の前を航空機が通過しても、粒子数に変化が見られない。それに対して、滑走路方向からの風(図 2-37(b))が卓越した同日の 13～14 時では、顕著な粒子数の増加が見られる。従って、粒子数の増加は、航空機排ガスによる可能性が高い。

以上の結果から、NO 濃度、PM2.5 濃度、粒子数に関しては、航空機排ガスまたは、空港関連施設からの排ガスがある程度空港内やその近傍地点の大気環境に影響を与えていることが強く示唆された。

ここでは、より定量的に航空機排ガスの影響を評価するため、測定結果を地点 1 の風向データを基に 3 グループに分類し、解析を実施した。実測期間中の各地点における風向、風速を図 2-39 及び図 2-40 に示す。実測期間中、風向は安定する日が多く、北寄りの風が卓越する時間が多い。グループ①は A 滑走路を北局から南局に向かって風が吹く場合(NNW、NW、WNW)、グループ②はグループ①とは逆に A 滑走路を南局から北局に向かって吹く場合(SSE、SE、ESE)、グループ③は A 滑走路から地点 1 に向けて風が吹く場合(ESE、E、ENE、NE、NNE)とした(図 2-38)。

表 2-14 にグループ①及びグループ②の局所濃度を示す。グループ①の値を見るとNO の値はマイナスとなっており、北寄りの風が卓越する場合でも北局の方が高い値となっている。航空機以外の顕著な排出源としては、自動車が考えられる。A 滑走路北局は、北側に新空港自動車道があり(図 2-41)、この影響を受けている可能性がある。しかし、A 滑走路北局と新航空自動車道の間には防音林及び傾斜があり、A 滑走路北局の方が高い位置にある。また、NO の濃度の時間変化が激しく、バックグラウンドを差し引いても短時間で 200ppb に達することもあり、かつ、北局と南局の濃度差が小さいことから、自動車排ガスの可能性は低いと考えられる。今後、風向別にバックグラウンドとするモニタリング地点を変えたり、シミュレーションや推計等により航空機排ガスの寄与率を把握する必要がある。

次に、A 滑走路から地点 1 に向かって風が吹く場合(グループ③)と、その他の方向から吹く場合を比較し、滑走路からの寄与濃度を推定する。表 2-15 にグループ③とその他の風向(グループ①、グループ②を含む)におけるNO、NO<sub>2</sub>濃度を示す。NO は運航時間中、時間平均値で 29.6ppb に達している。

表 2-14 グループ①及びグループ②におけるNO、NO<sub>2</sub>の局所濃度

グループ	運航時間内 (6-22 時)			運航時間外 (23-5 時)		
	NO (ppb)	NO <sub>2</sub> (ppb)	出現率	NO (ppb)	NO <sub>2</sub> (ppb)	出現率
グループ①	-6.8	0.5	25.4%	-16.0	-1.2	14.1%
グループ②	—	—	0%	—	13.0	0.7%

注 1: グループ①は北局の濃度－南局の濃度、グループ②は南局の濃度－北局の濃度を示す。

注 2: —はデータなし

表 2-15 グループ③及びその他の風向における地点 1 のNO、NO<sub>2</sub>、PM2.5 濃度

グループ	運航時間内 (6-22 時)				運航時間外 (23-5 時)			
	NO (ppb)	NO <sub>2</sub> (ppb)	PM2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	出現率	NO (ppb)	NO <sub>2</sub> (ppb)	PM2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	出現率
グループ③	29.6	14.5	17.9	25.4%	10.5	11.2	7.7	10.6%
その他の風向	11.5	7.1	13.7	74.6%	7.1	4.2	19.2	89.4%

注 1: グループ③は、風向が ESE, E, ENE, NE, NNE の場合

注 2: その他の風向は、グループ③以外の風向全て

注 3: NO 及び NO<sub>2</sub>濃度は、地点 2 の値をバックグラウンドとして差し引いた値を示す

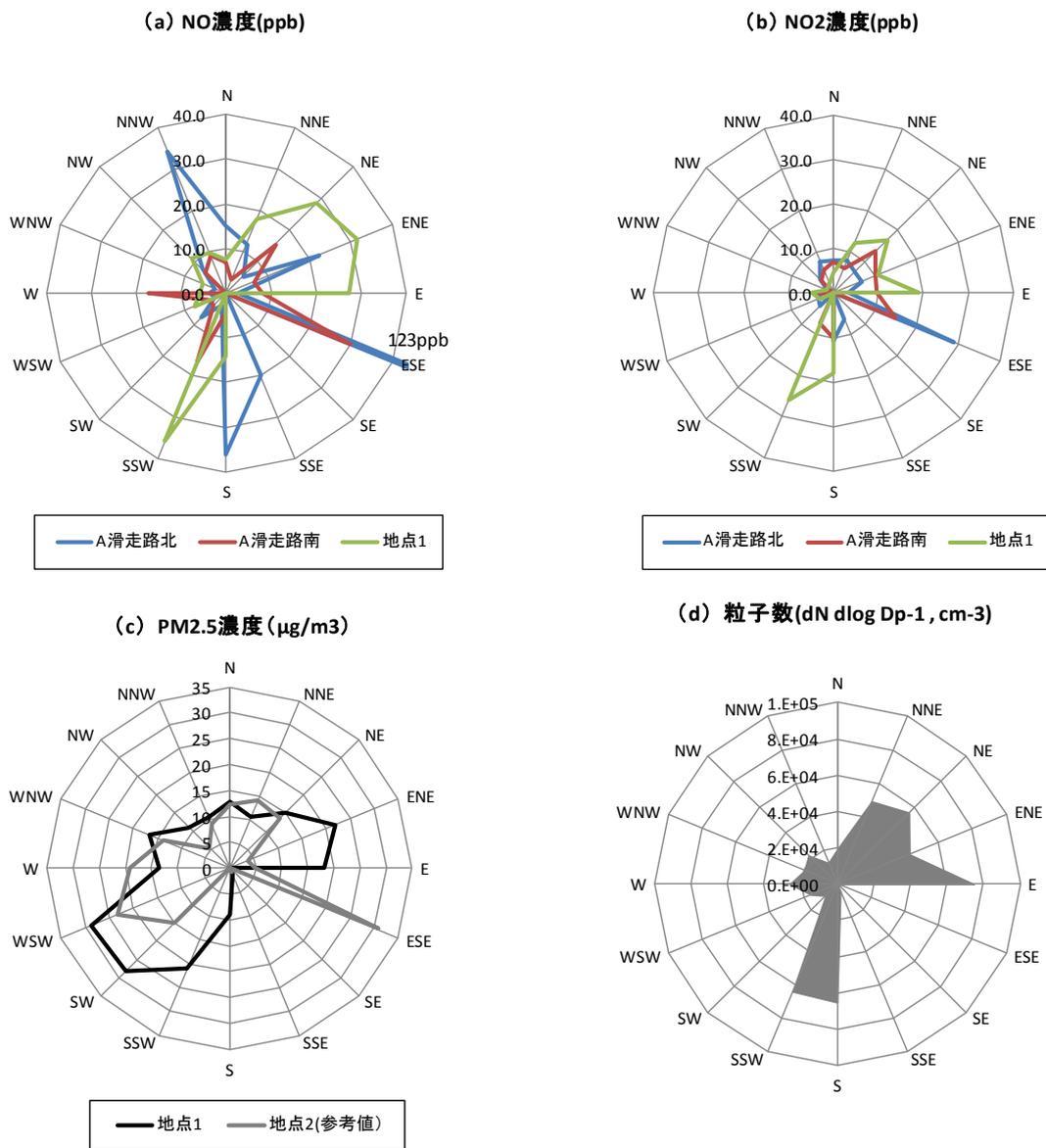


図 2-36 地点 1、A 滑走路北局、A 滑走路南局における風向別 NO 濃度、NO<sub>2</sub> 濃度、PM<sub>2.5</sub> 濃度、粒子数(NO、NO<sub>2</sub> 濃度は地点 2 の測定値をバックグラウンドとして差し引いた)

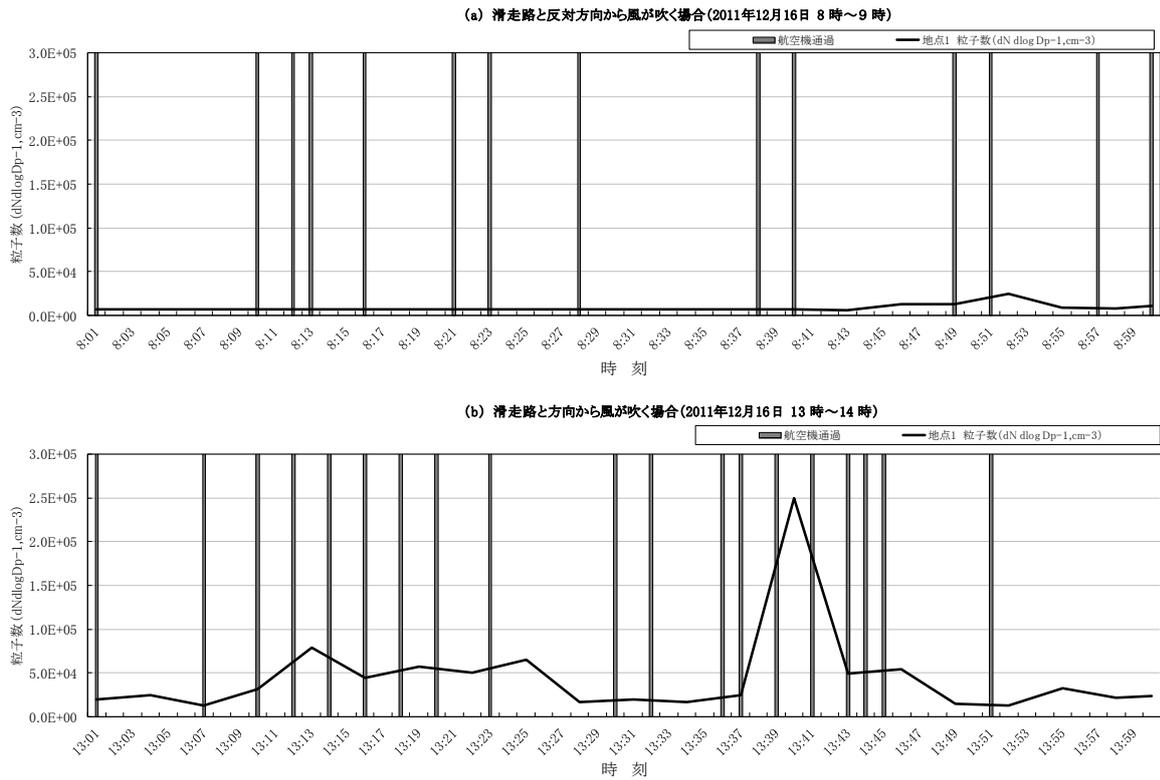


図 2-37 ビデオカメラ画像より判定した航空機の通過時刻と粒子数の比較  
 ((a)滑走路と反対方向からの風が卓越していた時間帯(8~9時)、(b)滑走路方向からの風が卓越していた時間帯(13~14時))

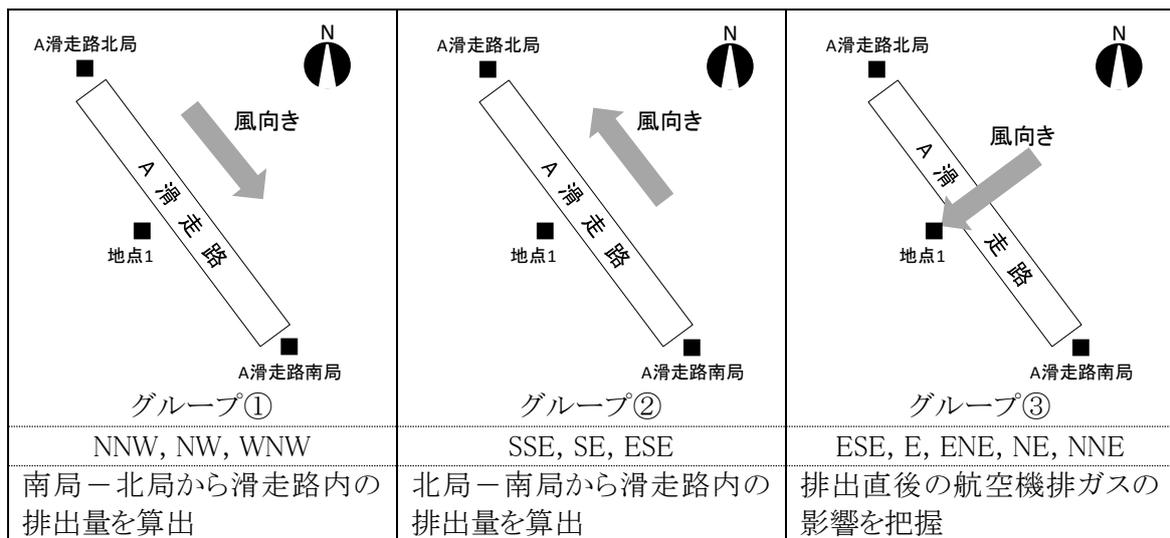


図 2-38 データの分類方法及び解析方法

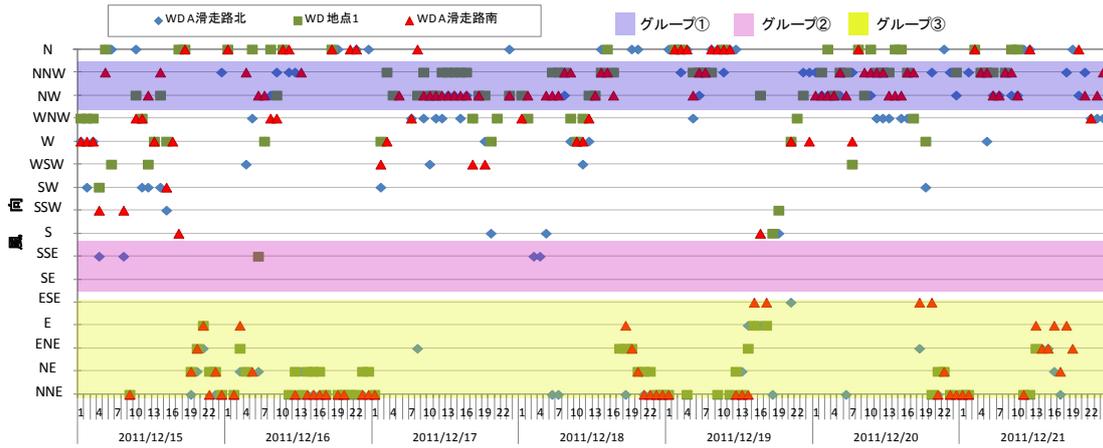


図 2-39 A 滑走路北局、A 滑走路南局、地点 1 における風向 1 時間値  
(2011 年 12 月 15 日～12 月 21 日)

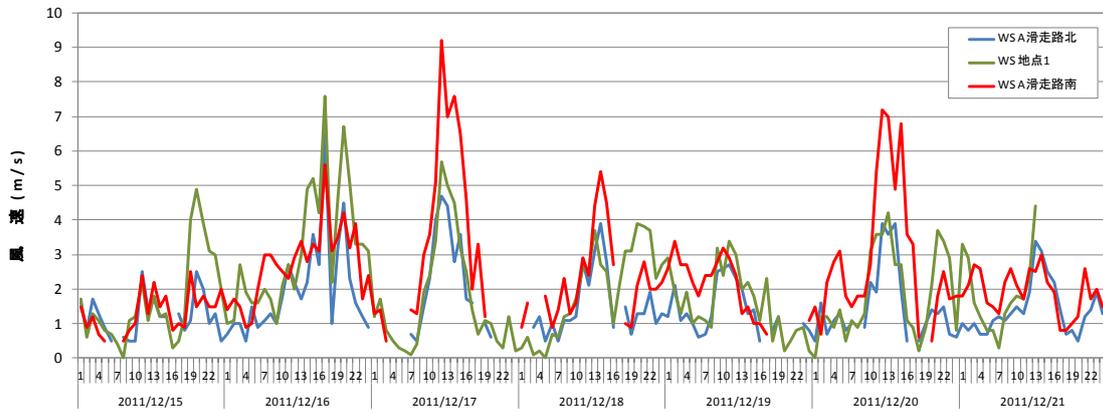


図 2-40 A 滑走路北局、A 滑走路南局、地点 1 における風速 1 時間値



図 2-41 A 滑走路北局周辺の環境

## 2.4.5 考察及びまとめ

### ①事例解析(2.3.2)

測定結果の傾向を把握するため、バックグラウンド濃度が小さく、かつ、滑走路方向から地点 1 に向かって風が吹いていたことから、航空機排ガスの影響を捉えている可能性の高いと考えられる 2011 年 12 月 16 日を対象に事例解析を行った。

#### ・NO、NO<sub>2</sub>濃度

風向に着目してデータを分類し、NO、NO<sub>2</sub>濃度の平均値を比較した。その結果、滑走路方向から風が吹く場合に、それ以外と比較して、NO 濃度で 18.7ppb、NO<sub>2</sub>濃度で 10.5ppb 濃度が高く、NO/NO<sub>x</sub>比が 60.5%と高いことから、これらは航空機排ガスによるものと考えられる。(ここでは、地点 2 の値をバックグラウンドとして引いた値を指す)。

#### ・PM2.5 濃度

風向・風速の変化に着目しデータをグループ分けして、平均濃度の比較を行った。その結果、滑走路方向から風が吹いても、風速の差によって顕著な濃度差があり、風速が大きいグループの方が 10.7 μg/m<sup>3</sup> 高い値となった。従って、PM2.5 濃度の影響を評価する場合は、風向に加えて風速も考慮する必要がある。但し、実測調査に使用した PM2.5 計は、時間分解能が 1 分であり、NO・NO<sub>2</sub>計よりもシャープに航空機排ガスプルームを捉えている可能性があるため、NO、NO<sub>2</sub>濃度に関しても測定器の時間分解能によっては同様の傾向が見られる可能性がある。

#### ・粒径別粒子数

地点 1 に、粒径別粒子数計(SMPS)を設置し、測定を行った結果、航空機排出ガスに含まれる粒子は、粒径 10~20nm(0.01 μm~0.02 μm)程度のナノ粒子が大量に排出されていることが強く示唆された。航空機起源のナノ粒子測定に関して、Zhu et al., 2011<sup>5)</sup>ではロサンゼルス空港の滑走路風下側で測定を実施し、航空機起源の排ガスに粒径 10nm~20nm 程度のナノ粒子が多く含まれていることが確認されているが、国内においても初めて同様の状況を確認することができた。

一方、地点 1 から見て滑走路の先には空港関連施設があるため、これらからの排出ガスも一部含まれている可能性がある。

---

5) Yifang Zhu, Elinor Fanning, Rong Chun Yu, Qunfang Ahang, John R. Froines,(2011), Aircraft emissions and local air quality impacts from takeoff activities at large International Airport, Atmospheric Environment, 45, 6526-6533.

### ②実測期間中の汚染物質濃度(2.3.3)

実測期間中の空港周辺の汚染物質状況を把握し、環境基準の達成状況を確認した。NO<sub>2</sub>濃度は、最も高濃度となった12月15日の芝山山田の日平均値でも52ppbであり、全期間中、全モニタリングサイトにて環境基準を達成している。

一方、NO濃度は、滑走路直近の地点1及びA滑走路北局で周辺の常時監視局に比べて濃度が高く、これらの地点では、日によっては日平均で40ppbを超えた日もあった。

地点1のPM<sub>2.5</sub>濃度は、実測期間中の平均値が13 $\mu$ g/m<sup>3</sup>であり、平成22年度の常時監視局全国平均値(一般局:15.1 $\mu$ g/m<sup>3</sup>、自排局:17.2 $\mu$ g/m<sup>3</sup>)よりも低い値であった。年平均値ではないため参考値となるが、環境基準値以下である。最も高濃度となった12月15日の日平均値は、31.3 $\mu$ g/m<sup>3</sup>(98パーセンタイル値は30.5 $\mu$ g/m<sup>3</sup>)であり、1日平均値の環境基準は達成しているものの、他の測定日と比べて著しく高い値となった。

### ③滑走路内の汚染物質の空間分布(2.3.4)

A滑走路内の汚染物質の空間分布を把握するため、地点1、A滑走路北局、A滑走路南局のデータを用いて解析を行った。これらA滑走路直近の測定局では、NO<sub>2</sub>よりもNOの方が高濃度になることが多く、シャープなピークが見られる。

風向・風速データに着目してデータを分類し、解析を実施した結果、

## 2.4.6 今後の課題

今年度は、成田国際空港を対象としてモニタリングデータの詳細解析及び実測調査を実施し、滑走路直近の測定局でもNO<sub>2</sub>の環境基準は達成する可能性が高いことが確認された。一方で、NOの濃度は高い値となり、これらは移流する過程で酸化しNO<sub>2</sub>となるため、潜在的にNO<sub>2</sub>濃度に影響を与えている可能性がある。

滑走路内の粒子状物質に関して、PM2.5濃度は、NO<sub>2</sub>同様に滑走路直近の空港内測定地点(地点1)においても環境基準を達成する可能性が高いが、一方で、SMPSの測定結果(粒径別粒子数)から航空機排ガス中にナノ粒子が大量に含まれている可能性が強く示唆されており、これらの粒子が大気中で凝集・成長することで、発生源から離れた地点のPM2.5濃度により影響を与える可能性がある。

これらの大気中での動態を把握し、周辺の大気環境に与える影響を定量的に評価するためには、シミュレーションを実施することが望ましい。図2-42に拡散シミュレーションのフローを示す。まず、機種別・エンジン別のフライトデータに、エンジン別の排出係数を掛けて航空機のLTOサイクル当たりの排出量を算出する。次に、空港施設からの排出量及び、空港近隣の自動車の排出量を推計し、METI-LIS等のプルーム・パフモデルを用いて拡散シミュレーションを行う。最後に、今回の実測調査結果及びモニタリングデータを用いて、計算結果の検証を実施し、航空機起源の排ガスが周辺の大気環境に与える影響・寄与率等を求める。

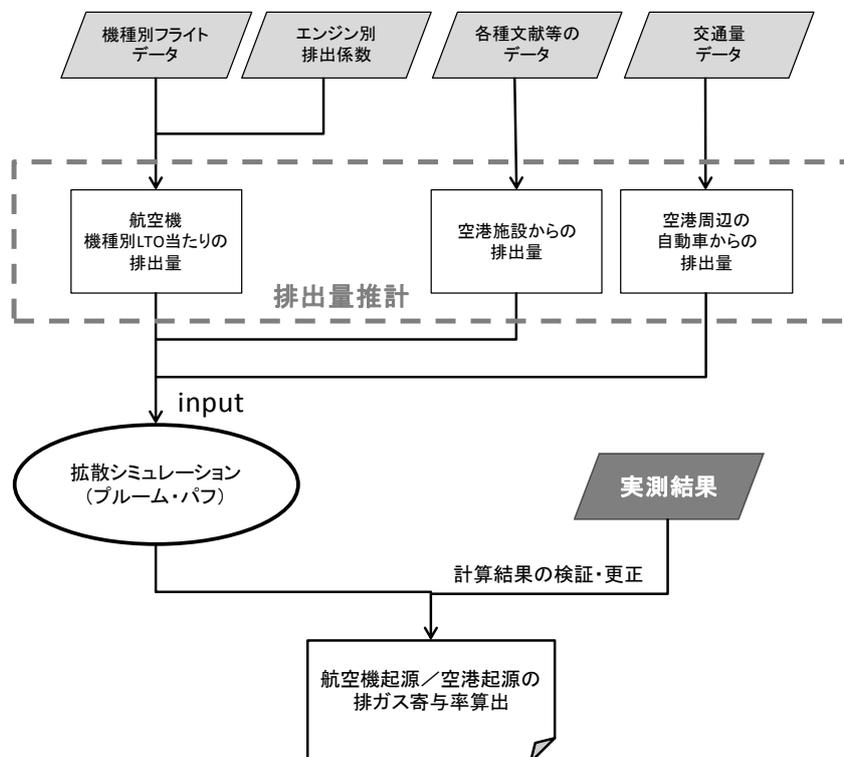


図 2-42 航空機排ガス及び空港起源の汚染物質が周辺環境に与える影響評価フロー

**参考** 地点 2 に設置した PM2.5 測定値の補正

地点 2 に設置した PM2.5 計は環境省の並行試験に合格した計測器ではないため、中央環境審議会大気環境部会 微小粒子状物質測定法専門委員会報告(環境省、平成 21 年 9 月)に記載されている川崎市における並行測定試験の結果を用いて補正を行った。地点 2 の測定器はβ線吸収法であるため、補正には機種 D 及び機種 E の補正式の平均値(傾き:1.405、切片:1.44)を用いた(表 2-16、表 2-17)。なお、機種 C も同様の測定手法だが、測定を行った季節が他と異なるため、本文献では参考値としている。

実測期間(2011 年 12 月 15 日～21 日)の地点 2 の補正前及び補正後の測定結果を図 2-44 に示す。補正前の全期間平均値  $23.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  に対して、補正後  $16.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  とおよそ 70%の値となっている。本解析には、こちらの補正した値を使用した。

表 2-16 並行測定試験設置機器一覧

機種名	測定原理	PM <sub>10</sub> 分粒装置	PM <sub>2.5</sub> 分粒装置	採取口の設置高さ	備考	
A	TEOM	FRM インパクタ	FRM-WINS インパクタ (16.7 L/min)	約 11.5 m (地上高)	検出部温度 50 °C	
B	TEOM (FDMS)				拡散除湿管により除湿を行う 検出部温度は 30 °C	
C						
D	β線吸収法				FEM-VSCC サイクロン (16.7 L/min)	
E						
F	β線吸収法 (バーチャルインパクタ)				バーチャル インパクタ (16.7 L/min)	バーチャルインパクタ： PM <sub>2.5</sub> (15.31 L/min) ， PM <sub>c</sub> (1.36 L/min)
G	ハイブリッド (β線吸収＋ 光散乱法)				FEM-VSCC サイクロン (16.7 L/min)	相対湿度 40 %以上になると試料導入管の一部を 70 °C に加熱し、除湿を行う

出典：中央環境審議会大気環境部会 微小粒子状物質測定方法専門委員会報告書(環境省、H21)

表 2-17 回帰式による計算結果

	機種 A	機種 B	機種 D	機種 E	機種 F	機種 G	機種 C (参考)*
相関係数	0.90 ×	0.97 ○	0.94 ×	0.94 ×	0.95 ×	0.97 ○	0.98 ○
傾き	0.70 ×	1.06 ○	1.44 ×	1.37 ×	1.22 ×	0.98 ○	1.11 ×
切片	3.89 ×	2.61 ×	1.83 ×	1.05 ×	3.15 ×	1.44 ○	-1.59 ×

注)○:適正、×:不適正

出典: 中央環境審議会大気環境部会 微小粒子状物質測定方法専門委員会報告書(環境省、H21)

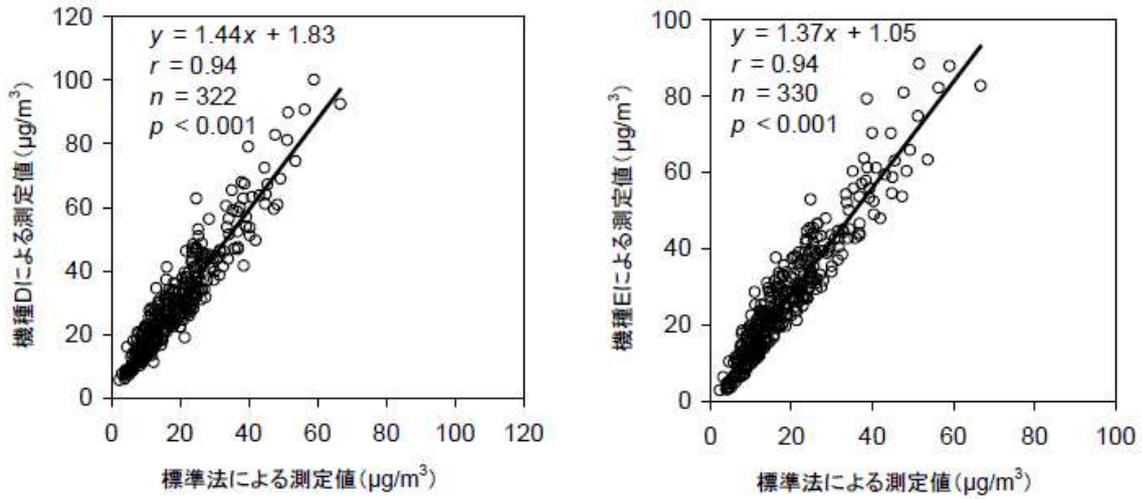


図 2-43 機種 D 及び機種 E と標準法の相関

出典: 中央環境審議会大気環境部会 微小粒子状物質測定方法専門委員会報告書(環境省、H21)

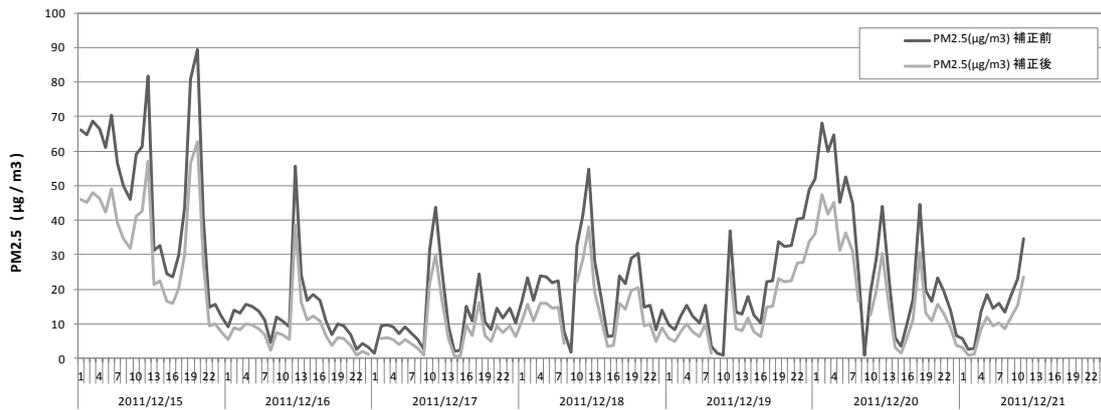


図 2-44 地点 2 における PM2.5 測定結果(補正前後の比較)

## 第3章 港湾周辺の大気環境調査

### 3.1 調査の概要

本調査では、航空機排出ガスに対する施策について、その必要性も含めて検討することを目標としているが、そもそも船舶の影響を受けると考えられる場所である港湾周辺の大気汚染の状況が未把握であったことから、平成 22 年度調査において、船舶排出ガスに含まれる主な物質として、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、及び SPM を経年変化、月変化、時間変化、風向別の傾向等を多角的に解析した。その結果、港湾に近いほど大気汚染濃度が高い傾向が見られた。他方、光化学オキシダント(O<sub>x</sub>)や微小粒子状物質(PM<sub>2.5</sub>)については、マルポール条約附属書VIに基づく船舶からの大気汚染物質放出規制海域(ECA)の設定で議論となっているものの、平成 22 年度では解析を実施しなかった。

本年度調査では、この平成 22 年度で対象としなかった 2 物質のうち O<sub>x</sub> について港湾周辺での大気汚染状況の傾向を把握するための解析を行った。近年 O<sub>x</sub> は濃度が上昇しており、大気環境基準達成率は、平成 22 年度で 0%となっている<sup>6)</sup>。O<sub>x</sub> は二次生成物質であり、船舶排出ガスに含まれる NO<sub>x</sub> も原因物質といわれていることから、ここでは、港湾周辺における O<sub>x</sub> の大気汚染の状況を常時監視測定局データを用いて解析した。

なお PM<sub>2.5</sub> は、近年常時監視が開始されたところであり、本解析のために十分なデータが得られないことから本年度では解析対象としなかった。

### 3.2 港湾周辺の常時監視局データ解析

#### 3.2.1 解析方法

O<sub>x</sub> の全国的な濃度分布を図 3-1 に示す。また関東平野の分布を図 3-2 に示す。O<sub>x</sub> は二次生成物質であり、その生成には多数の要素が複雑に関係することが知られているが、我が国における O<sub>x</sub> 濃度については、一般的に次のような傾向が報告されている。

- ▶全国的に近年 O<sub>x</sub> 濃度が上昇している。高度成長期から高濃度が出現している太平洋ベルト地帯に限らず、近年は九州や日本海沿岸でも高濃度が出現している。
- ▶全国的には高濃度地域は沿岸に多いが、大都市圏のある関東平野、濃尾平野、大阪平野では、逆に沿岸では濃度が低く、内陸では濃度が高い。
- ▶九州地方や西日本の沿岸部では、局地的な大気汚染による高濃度の出現に加え、大陸からの越境汚染による影響の可能性が示唆されている。
- ▶高濃度が出現する季節は、全国的に春から夏となっており、冬は濃度が低い。

このように O<sub>x</sub>濃度変化は地域や季節により特徴的な傾向を示すことが予想されることから、本解析では、全国の濃度分布に基づき、高濃度となっている地域を抽出して、これらの地域ごとに、近年の濃度変化、月ごとの濃度変化、時間ごとの濃度変化を集計し、これらの集計結果に対し、港湾周辺に限定した場合の傾向と比較した。

<sup>6)</sup> 一般環境大気測定局、自動車排出ガス測定局の測定結果報告、平成 22 年度、環境省。環境基準は 1 時間値が 0.06ppm 以下であること、とされており、ある測定局で 1 回でも 0.06ppm を超えた場合は、その測定局では未達成とみなされる。

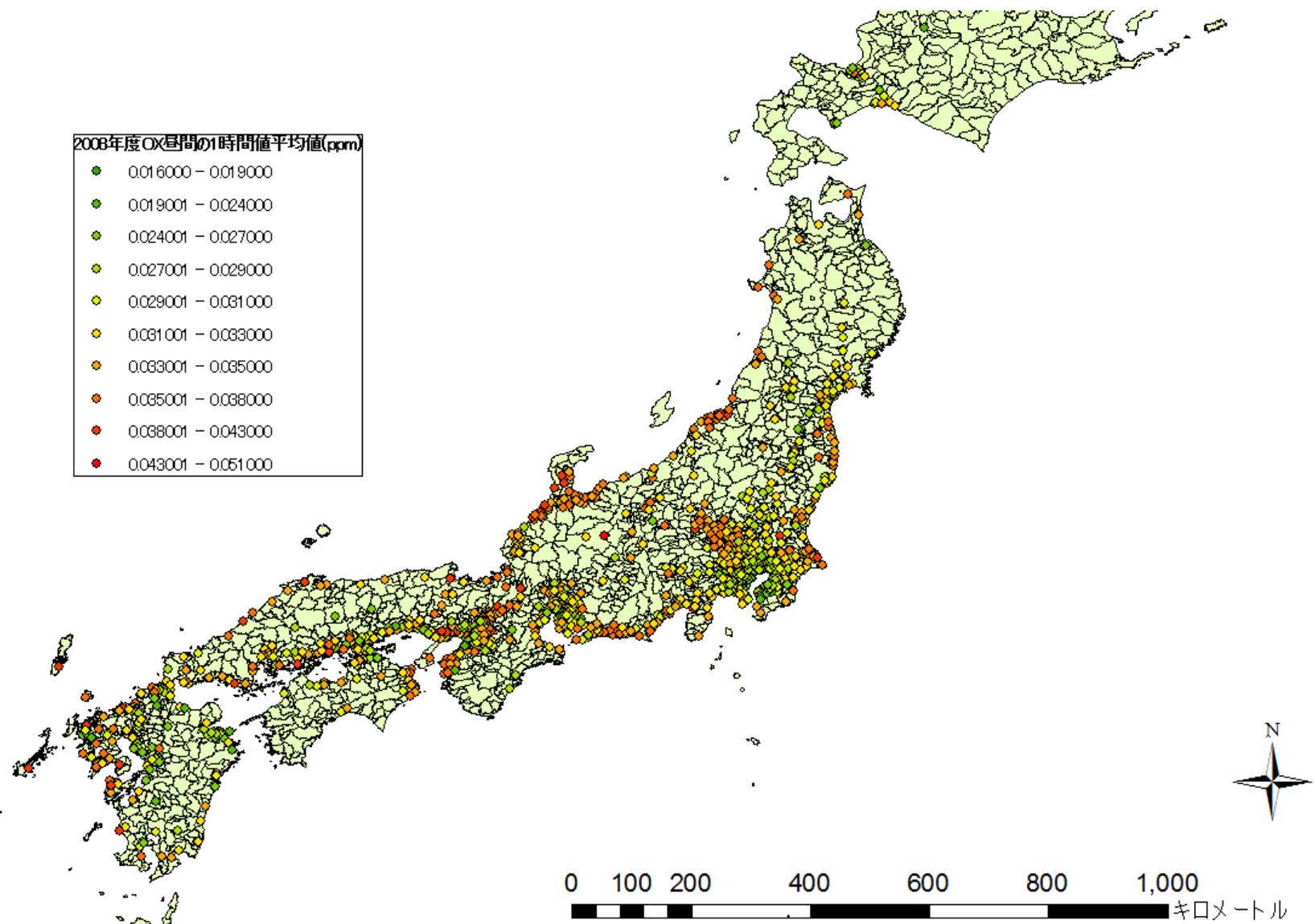


図 3-1 Ox の濃度分布(昼間の 1 時間値の年平均値、2008 年度)

出典:(独)国立環境研究所 環境数値データベースに基づき作成

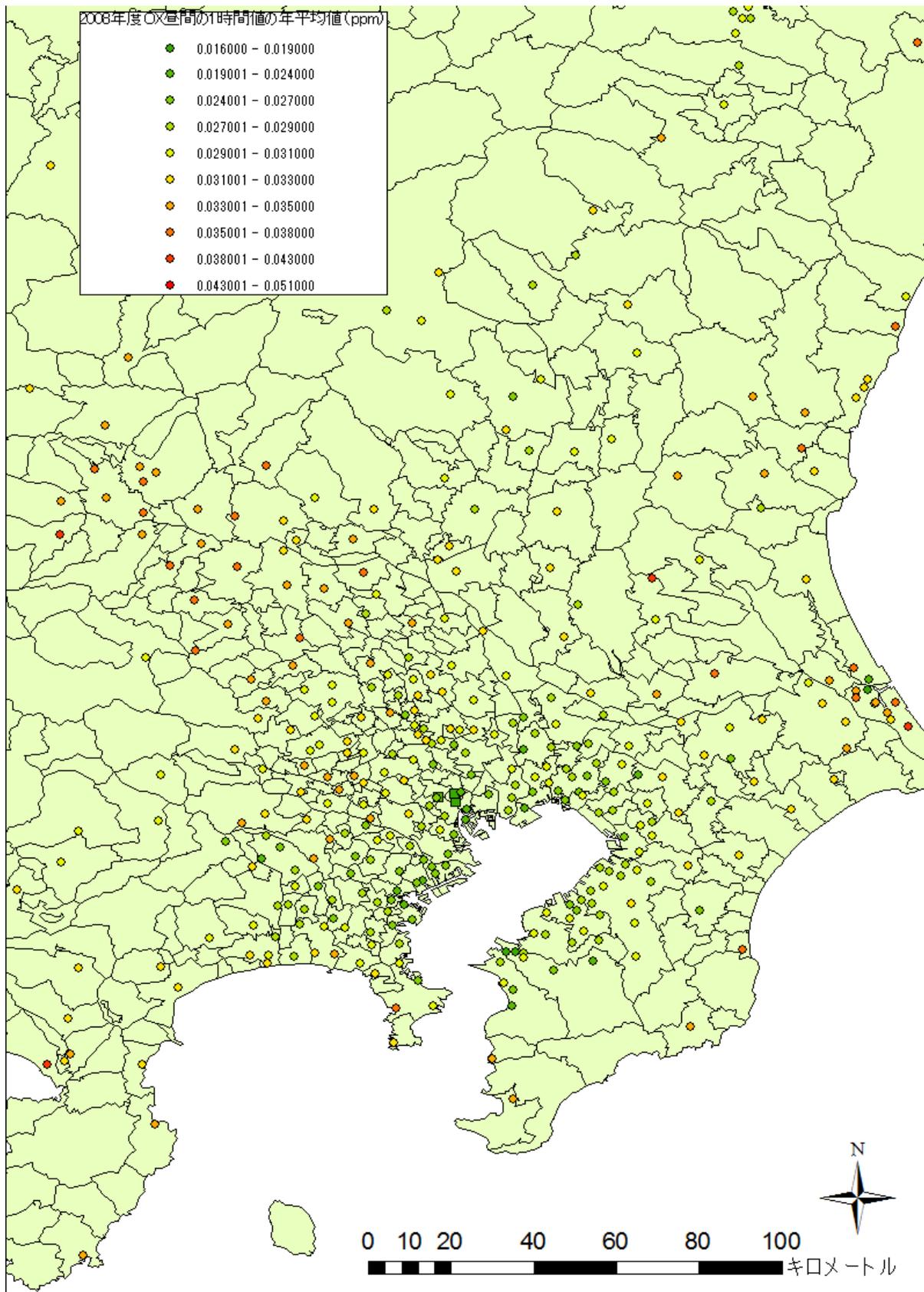


図 3-2 Ox の濃度分布(昼間の 1 時間値の年平均値、2008 年度)【関東平野】

ここでの解析において対象とした高濃度地域は、図 3-1 から  $O_x$  の昼間の時間値の年平均値が 0.033ppm 超の測定局が集まっている地域を目視により抽出した。さらに、抽出した地域内の主な港湾の間の距離が比較的近く、その地域内にある港湾周辺において大気環境濃度を平均して解析することが妥当と考えられるものをグループ化した。また、関東平野、濃尾平野、及び大阪平野については、参考として内陸での濃度も集計した。(表 3-1)

表 3-1 本解析における地域と対応する都府県等

地域		都府県等
A.大都市圏のある平野	関東平野	茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県
	濃尾平野	愛知県、岐阜県、三重県
	大阪平野	大阪府、京都府、和歌山県、兵庫県
	上の沿岸	各平野の都府県のうち、海岸線から 30km まで
	上の内陸(参考)	各平野の都府県のうち、海岸線から 30km 以遠
B.他の地域	山陽	岡山県、広島県、山口県

解析に利用するデータの概要は次のとおり。

- ▶ 年間値・・・1992～2008 年度の年平均値(4 年ごと)
- ▶ 月間値・・・2008 年 4 月～2009 年 3 月の月平均値(2008 年度)
- ▶ 時間値・・・1～24 時の時間別月平均値及び季節平均値(春:3～5 月、夏:6～8 月、秋:9～11 月、冬:12～2 月、2009 年度)

対象とする港湾及び測定局の抽出方法は次のとおり。

- ▶ 対象とする港湾は、高濃度地域に所在する主要な港湾とする。主要な港湾とは取扱貨物量 100 位までに含まれる港湾とする。主要な港湾の例を表 3-2 に示す。
- ▶ 港湾周辺測定局は、港湾周辺に切り取った状況に着目することを踏まえ、港湾区域等から周辺 10km に含まれるものとする。また自排局も含む( $O_x$  は主に二次生成することから、自動車による直接的な影響は特にないと仮定)。表 3-3 に本解析における地域に対応する港湾グループ及び測定局数を示す。

表 3-2 主要な港湾の例(2008 年度)

順位	港湾名	都道府県	総貨物量(トン)
1	名古屋	愛知	218,130,496
2	千葉	千葉	165,142,564
3	横浜	神奈川	141,764,431
4	北九州	福岡	109,427,332
5	水島	岡山	103,149,172
6	苫小牧	北海道	102,292,745
7	神戸	兵庫	95,185,517
8	大阪	大阪	92,976,253
9	川崎	神奈川	92,739,333
10	東京	東京	81,356,506
...			

出典：港湾取扱貨物量等の現況＜平成 20 年度＞「6-1 調査港湾取扱貨物量順位表」(国土交通省)

表 3-3 本解析における地域に対応する港湾グループ及び測定局数

地域		港湾グループ	港湾名		測定局数
1	関東平野	東京湾	1	千葉	91
			2	木更津	
			3	東京	
			4	川崎	
			5	横浜	
			6	横須賀	
2	濃尾平野	伊勢湾	7	名古屋	54
			8	衣浦	
			9	三河	
			10	四日市	
			11	津松阪	
3	大阪平野	大阪湾	12	大阪	45
			13	堺泉北	
			14	阪南	
			15	神戸	
			16	尼崎西宮芦屋	
4	山陽	山陽	17	宇部	45
			18	岩国	
			19	呉	
			20	広島	
			21	三田尻	
			22	鹿川	
			23	小野田	
			24	水島	
			25	竹原	
			26	土生	
			27	徳山下松	
			28	福山	
			29	柳井	

※ 測定局数は 2009 年度。

### 3.2.2 調査結果

#### ① 全国の測定局における傾向と港湾周辺の比較

全国の測定局における傾向と港湾周辺の比較を図 3-3 及び図 3-4 に示す(各図のデータ数は表 3-4 参照)。ここでは、近年、全国的に  $O_x$  濃度が上昇しており、港湾周辺も同様の傾向がみられた。また、月変化や季節別・時間別変化の傾向でも、全国平均の傾向と港湾周辺の傾向はほとんど差異がなかった。

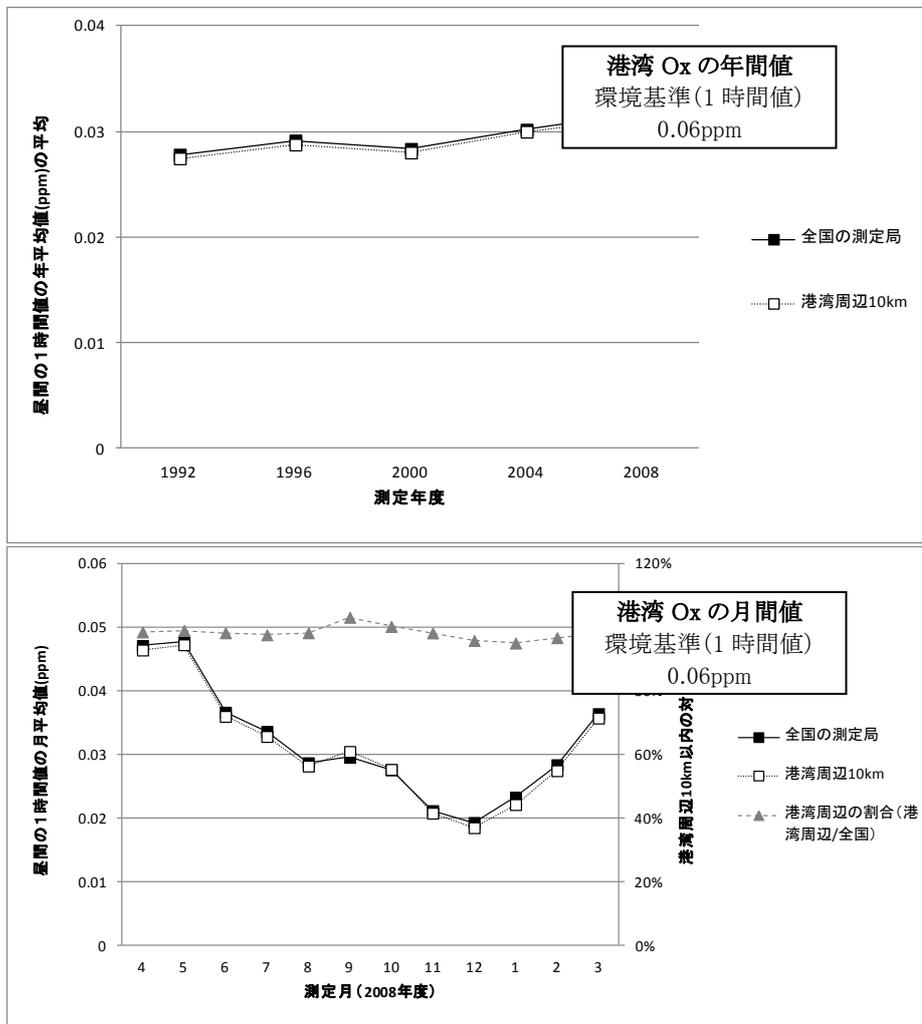
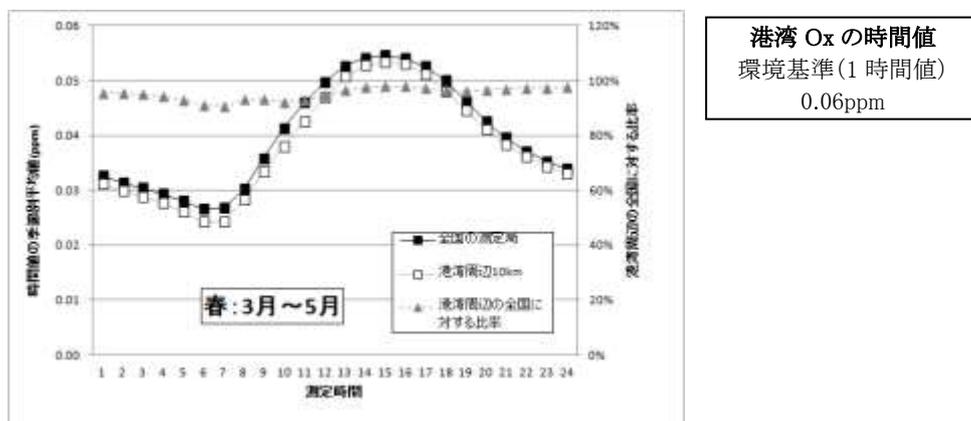


図 3-3 全国の測定局における傾向と港湾周辺の比較(経年変化及び月変化)



※3月の値は2009年度(暦年では2010年)

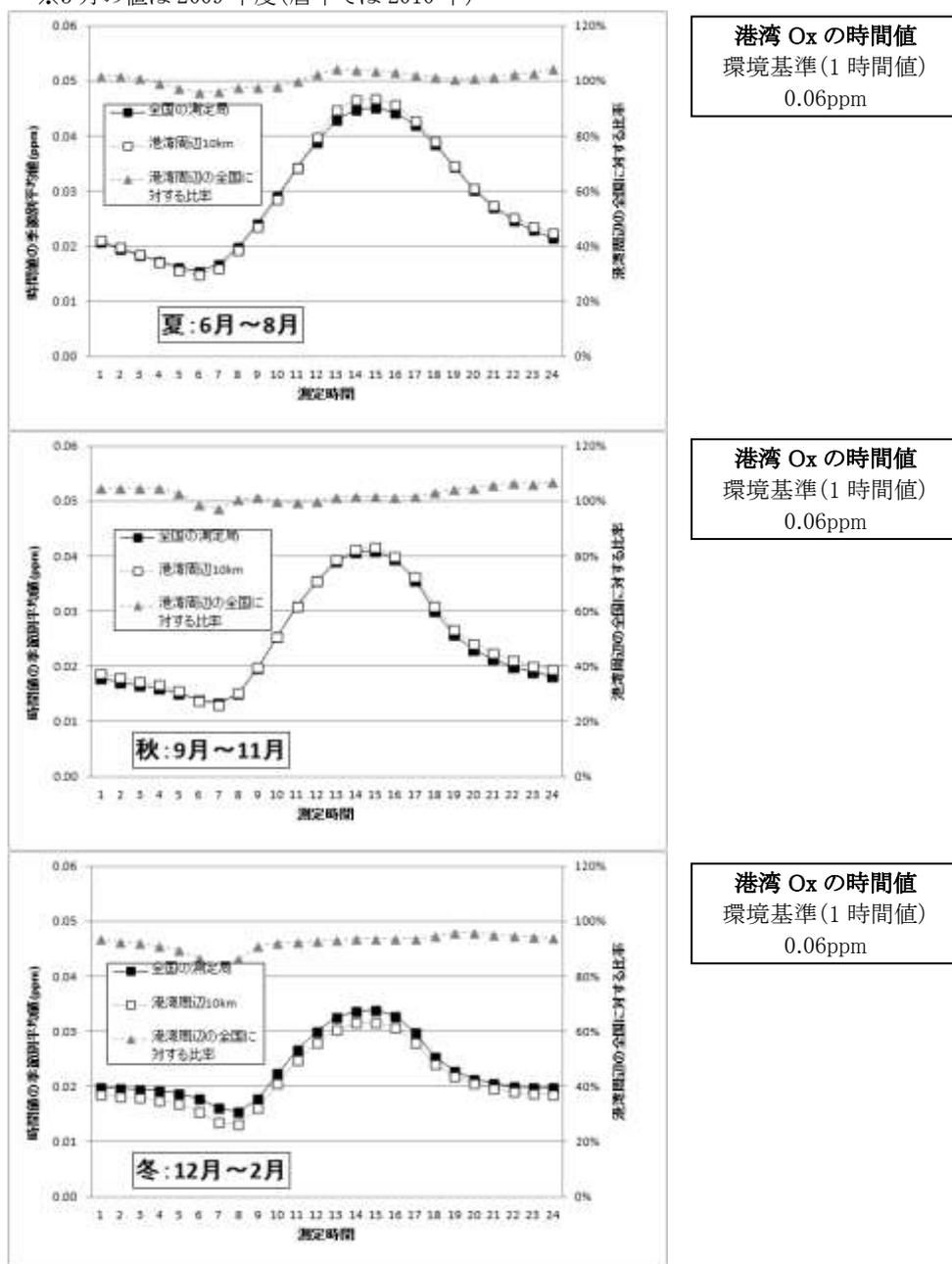


図 3-4 全国の測定局における傾向と港湾周辺の比較(季節別・時間変化)

注) 値は測定時までの60分の平均値。

表 3-4 全国の測定局における傾向と港湾周辺の比較各図のデータ数

	—■—	...□...
	全国の測定局	港湾周辺 10km
経年変化	933	803
月変化	1162 から 1178	349 から 355
季節別・時間変化	1153 から 1165	228 から 235

## ② 地域における傾向と港湾周辺の比較

O<sub>x</sub> 濃度の傾向は、全国と港湾周辺の比較においてほとんど差異がないことが上記の解析で示された。

ここでは、さらに地域的な特徴の有無を調査するために、地域ごとに解析を行った。地域は、港湾施設が一定のまとまりのある空間的な区分として、大都市圏のある関東平野、濃尾平野及び大阪平野と、平野以外の地域として山陽を設定して解析を行った。

#### ア) 経年変化の傾向

地域の測定局における傾向と港湾周辺の比較を図 3-5 に示す(各図のデータ数は表 3-5、表 3-6 参照)。どの平野でも近年濃度が上昇しているが、港湾周辺と沿岸はほとんど同様の傾向である一方、参考として内陸の上昇は著しい状況となった。平野以外では山陽地域を解析したが、ここで港湾固有の特徴はみられない状況となった。

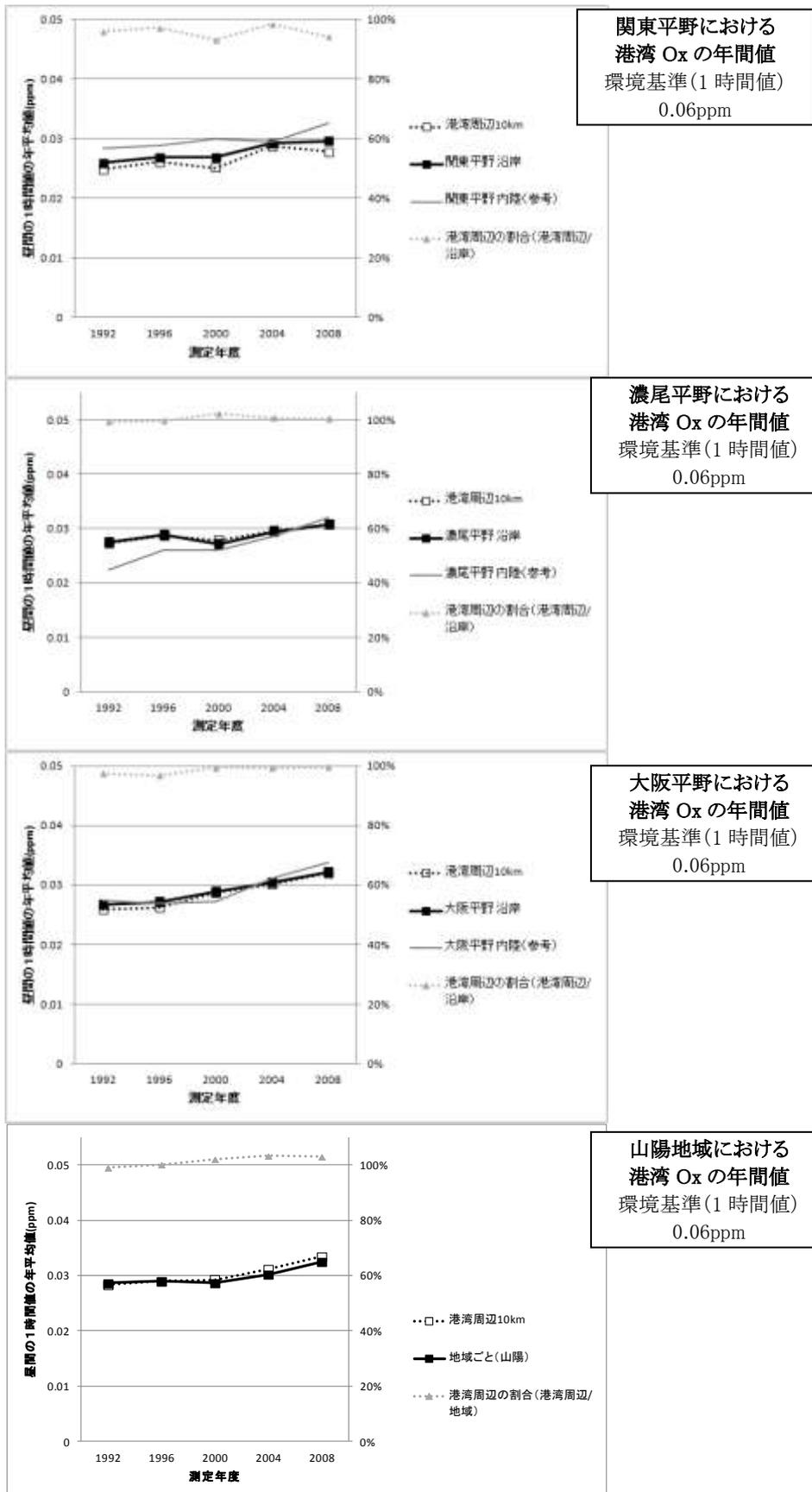


図 3-5 地域の測定局における傾向と港湾周辺の比較(経年変化)

表 3-5 大都市圏のある平野の測定局における傾向と港湾周辺の比較(経年変化)各図のデータ数

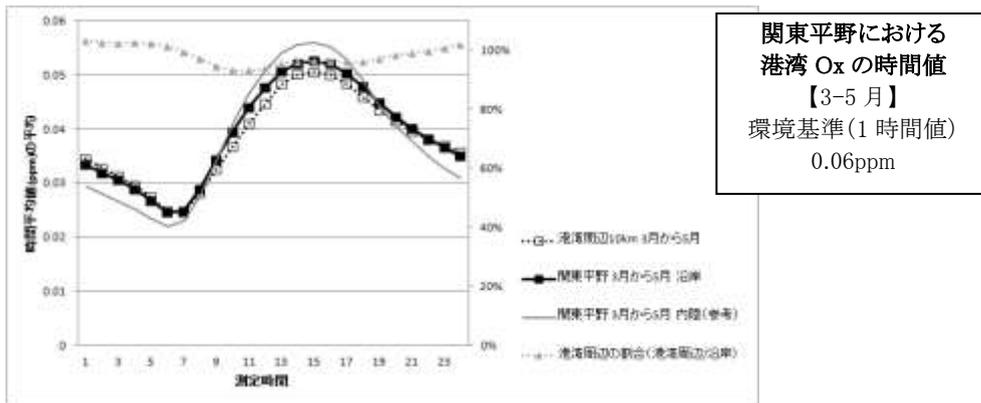
	・・・□・・・	----■----	————
	港湾周辺 10km	各平野沿岸	各平野内陸
関東平野	83	187	89
濃尾平野	54	94	10
大阪平野	39	118	28

表 3-6 山陽地域の測定局における傾向と港湾周辺の比較各図のデータ数

	・・・□・・・	----■----
	港湾周辺 10km	山陽地域
山陽	71	42

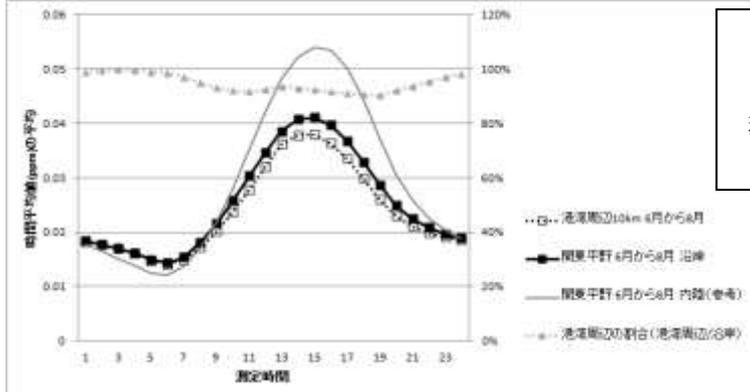
#### イ) 時間変化の傾向

地域の測定局における傾向と港湾周辺の比較について示す。図 3-6 地域の測定局における傾向と港湾周辺の比較(時間変化)は関東平野の例を示すが、濃尾平野、大阪平野ともに昼間に濃度が高くなり、そのとき濃度は、港湾周辺、沿岸、内陸の順で高い状況となった。なお、山陽地域では、港湾周辺と地域の間にはほとんど差異がなかったため図は省略した。

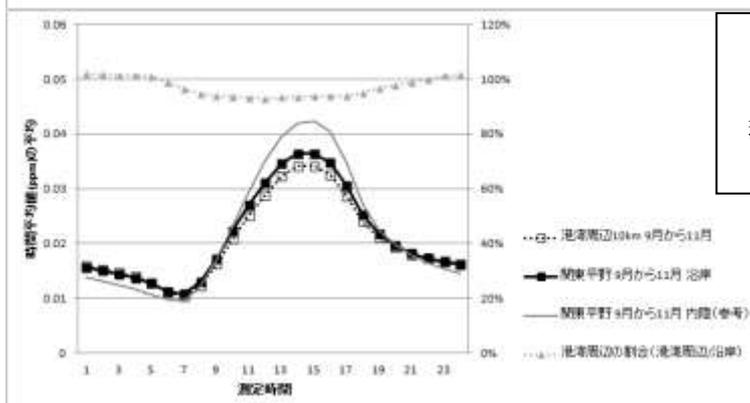


関東平野における  
港湾 O<sub>x</sub> の時間値  
【3-5 月】  
環境基準(1 時間値)  
0.06ppm

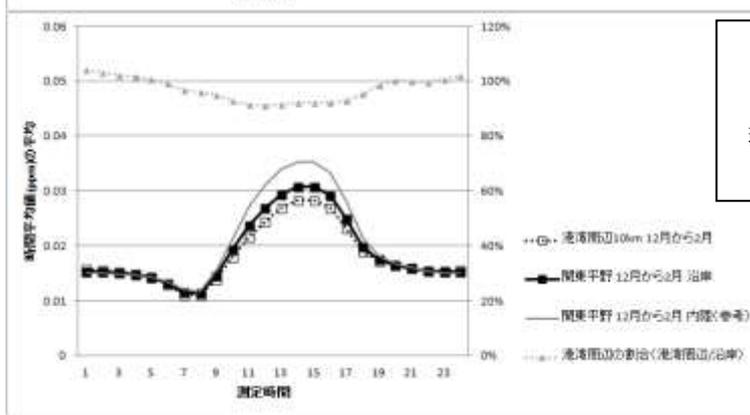
※3 月の値は 2009 年度(暦年では 2010 年)



関東平野における  
港湾 O<sub>x</sub> の時間値  
【6-8 月】  
環境基準(1 時間値)  
0.06ppm



関東平野における  
港湾 O<sub>x</sub> の時間値  
【9-11 月】  
環境基準(1 時間値)  
0.06ppm



関東平野における  
港湾 O<sub>x</sub> の時間値  
【12-2 月】  
環境基準(1 時間値)  
0.06ppm

図 3-6 地域の測定局における傾向と港湾周辺の比較(時間変化)

注) 値は測定時までの 60 分の平均値。

表 3-7 地域の測定局における傾向と港湾周辺の比較(時間変化)各図のデータ数

	・・・□・・・	----■----	————
	港湾周辺 10km	関東平野沿岸	関東平野内陸
3-5 月	91	219	101
6-8 月	91	219	101
9-11 月	91	219	101
12-2 月	91	219	101

### ③ 結果

以上の解析より、O<sub>x</sub> に関する港湾周辺の大気汚染状況は以下のとおりである。

- 全国平均と主要な港湾周辺の比較においては、近年、濃度の上昇傾向が見られた。
- この傾向は、平野の内陸部で顕著に見られたが、港湾周辺では平均的な上昇傾向と同様だった。
- なお、月変化や季節別時間変化の傾向は、今回解析したいずれの地域でも、港湾周辺に特徴的な傾向は見られなかった。

したがって、O<sub>x</sub> の場合は、平成 22 年度に解析した SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、SPM で見られた港湾に近いほど濃度が高い傾向とは異なり、港湾周辺で大気汚染状況がより深刻とはいえない状況となった。ただし港湾周辺においても、全国的な傾向と同様に、O<sub>x</sub> の大気環境基準達成率は低く、近年濃度は上昇傾向である。

### 3.3 船舶排ガス実測調査計画

#### 3.3.1 背景及び目的

平成22年度、港湾周辺の常時監視測定局のデータを用いて港湾周辺の大気環境に関する調査を行った結果、港湾に近い程 NO<sub>2</sub> 及び SO<sub>2</sub> の濃度が高くなる傾向が見られた(図 3-7)。一方で、常時監視測定局は、一般の大気環境(一般局)または自動車の排ガス(自排局)をモニタリングすることを目的に、これに適した位置に設置されているため、この測定値から船舶排出ガスが周辺の大気環境に与える影響を把握することは難しい。特に港湾周辺は、発電所や工場等が隣接しており、そこから出る排出ガスと船舶排出ガスを区別することは困難である。船舶排出ガスの影響を正確に把握するためには、船舶以外の顕著な排出源が無い場所のデータを使用することが望ましい。そこで、本資料では、船舶以外の排出源の影響が小さい場所を調査し、次年度以降の実測調査の有効性について検討する。

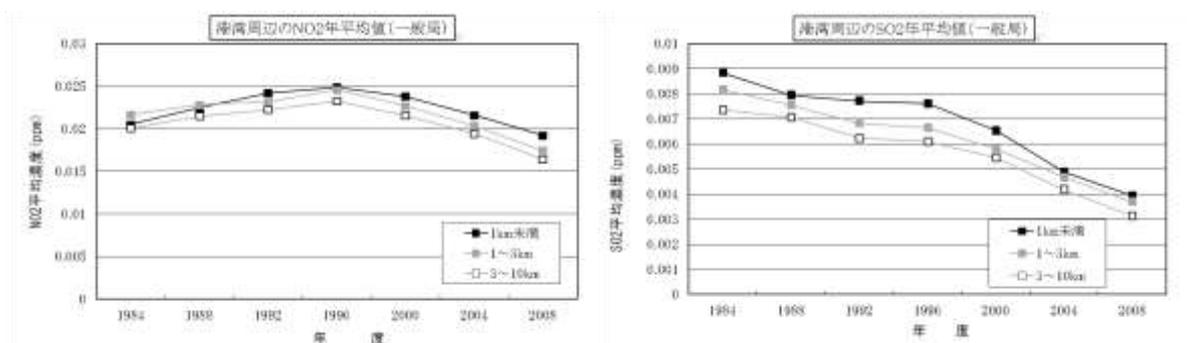


図 3-7 港湾周辺の常時監視局測定値(左:NO<sub>2</sub>、右:SO<sub>2</sub>)

#### 3.3.2 実測地点の検討

##### ① 調査手順

以下の手順で実測地点の選定を行う。

- 1) 常時監視局の測定値(主に NO<sub>x</sub>、SPM)から船舶以外の排出源の影響を把握し、既存の常時監視局を補完するような地点を選定
- 2) 船舶排出量データから航行中の船舶排ガスの影響を受ける可能性がある地点を把握
- 3) 1)、2)を基に船舶以外の排出源の影響を受ける可能性が低く、かつ、航行中の船舶排出ガスの影響を受ける可能性が高い地点を絞り込む
- 4) 設置候補地点へのヒアリング、設置の際のコスト試算

なお、今年度はおおよその候補地点の絞り込みを行った後、次年度以降で具体的な候補地点を検討する。

## ② 実測調査項目

実測調査項目を表 3-8 に示す。測定日数は 1 週間～2 週間程度とする。ここでは、船舶航行量が多い 3 大港湾のいずれかに調査地点を設置することとして検討を行う。

表 3-8 調査項目及び内容

項 目	内 容
測定日数	1週間～2週間程度
対象港湾	3大港湾(東京湾、大阪湾、伊勢湾)のいずれか ・周辺に船舶以外の排出源がない地点
測定物質	PM2.5、SO <sub>2</sub> 、O <sub>x</sub> 、NO <sub>2</sub> 、VOC の 1 時間値 風(風向・風速)

## ③ 使用するデータ

陸上の大気汚染の状況を確認するため、2008 年の常時監視局測定値(年平均値)を使用する。また、船舶航行時の排出ガス量を把握するため、海洋政策研究財団(OPRF)にて作成された船舶排出量データ<sup>7)</sup>を使用する。OPRF 作成の排出量データは、商船に搭載された船舶自動識別装置(AIS: Automatic Identification System)の航行情報を基に作成されているため、航行時の排ガスを測定するための実測地点を選定するのに適している。本調査では、これらのデータのうち、表 3-9 に示すデータを使用した。

表 3-9 OPRF 作成排出量データの区分(○:使用したデータ)

	モード	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	PM	CO	CH <sub>4</sub>	NMVOC	N <sub>2</sub> O
内航船	航行時	○						
	停泊時							
外航船	航行時	○						
	停泊時							
漁船	航行時							
	操業時							

7) ボートレースの交付金による日本財団の平成 23 年度助成金事業 排出規制海域(ECA)設定による大気環境改善効果の算定事業において海洋政策研究財団が作成したデータ、海洋政策研究財団、2010

#### ④ 候補地点の選定

ここでは、東京湾の観音崎、東京湾アクアライン海ほたる、伊勢湾神島、大阪湾友ヶ島において実測地点設置の可能性に関する検討を行った。

候補地点 1 東京湾 観音崎	
	
出典: Google Map	
①船舶以外の排ガスの影響	大きい 東京湾沿岸の工業地帯、幹線道路の影響を受ける可能性がある
②航行中の船舶排ガスの影響	大きい 浦賀水道を通過する船舶の影響を強く受ける
③設置コスト	小さい 交通網が整備されており、設置・点検が容易 観音崎公園、観音崎自然博物館など、自治体所有の施設があり、設置申請が容易
④備考	浦賀水道を挟む形で対岸線上に常時監視局(富津市富津)があり、この2地点の測定値から通過する船舶の排ガス影響を把握できる可能性がある。

図 3-8 実測候補地域(その1;東京湾観音崎)

候補地点 2 東京湾 アクアライン 海ほたる



出典: Google Map

①船舶以外の排ガスの影響	大きい 東京港及び千葉港の工業地帯、東京湾アクアラインを通過する自動車排ガスの影響を受ける可能性がある
②航行中の船舶排ガスの影響	大きい 東京港や千葉港などに入港する船舶の影響を強く受ける
③設置コスト	小さい 交通網が整備されており、設置・点検が容易 アクアラインから直接アクセスできるため、機材の輸送が容易
④備考	東京湾沿岸の常時監視局測定結果などと併せて、東京湾内の大気環境を立体的に把握することができる。 東京湾横断道路株式会社に申請し、設置の許可を頂く必要がある。

図 3-9 実測候補地域(その 2;東京湾アクアライン)

候補地点 3 伊勢湾 神島



出典: Google Map

①船舶以外の排ガスの影響	<p>小さい</p> <p>近隣に船舶以外の顕著な排出源は無い。全島民 500 人程度の小さな島であり、島内に顕著な排出源は無い。</p>
②航行中の船舶排ガスの影響	<p>大きい</p> <p>島の近くを大型の外交商船等が通過する</p>
③設置コスト	<p>大きい</p> <p>人を運ぶための定期船はあるが、観測用の機材を搬送することはできないため、船をチャーターする必要あり。</p> <p>測定期間中は、常駐する必要あり。</p> <p>島の先端に小・中学校があり、設置及び電力確保は可能</p>
④備考	<p>渥美半島に常時監視局(田原市古田町)があり、この 2 地点の測定値から通過する船舶の排ガス影響を把握できる可能性がある。</p>

図 3-10 実測候補地域(その 3;神島)

候補地点 4 大阪湾 友ヶ島



出典: Google Map

①船舶以外の排ガスの影響	中程度 近隣の港湾の影響を受ける可能性がある
②航行中の船舶排ガスの影響	大きい 島の近くを大型の外交商船などが通過
③設置コスト	大きい 観測用の機材を搬送することはできないため、船をチャーターする必要あり。 島内にキャンプ場があり設置・電源確保は可能
④備考	遠方のため、実測は地元の調査会社に依頼する必要あり。

図 3-11 実測候補地域(その 4; 友ヶ島)

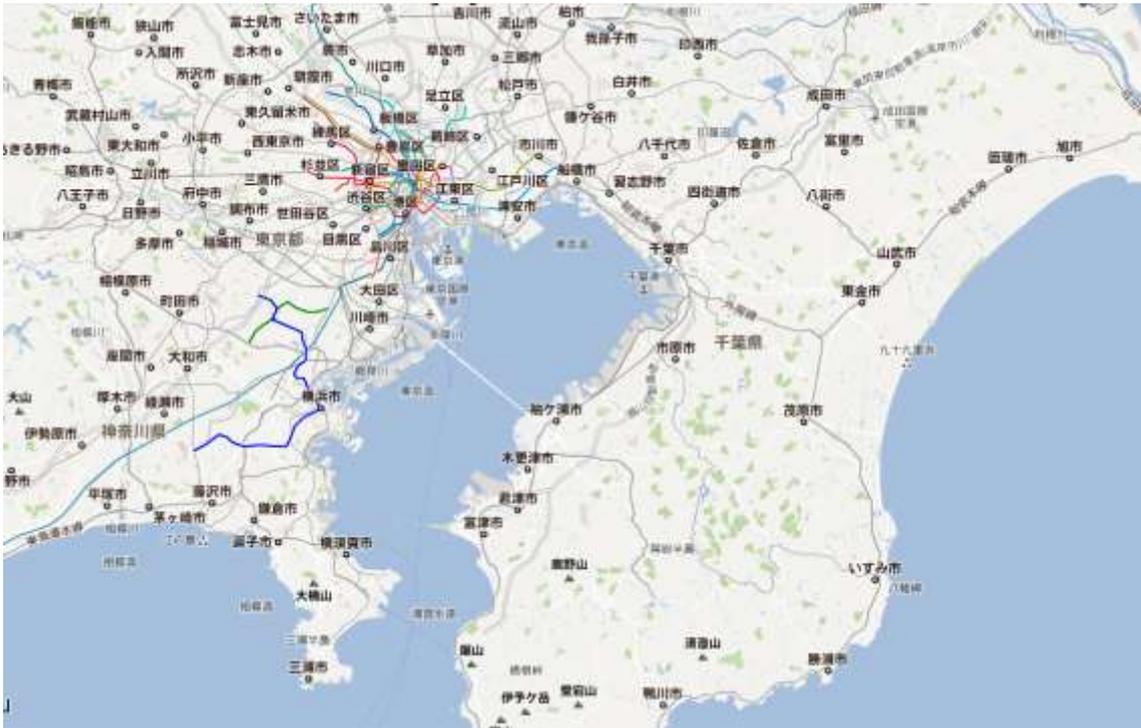


図 3-12 東京湾(関東地方)の路線

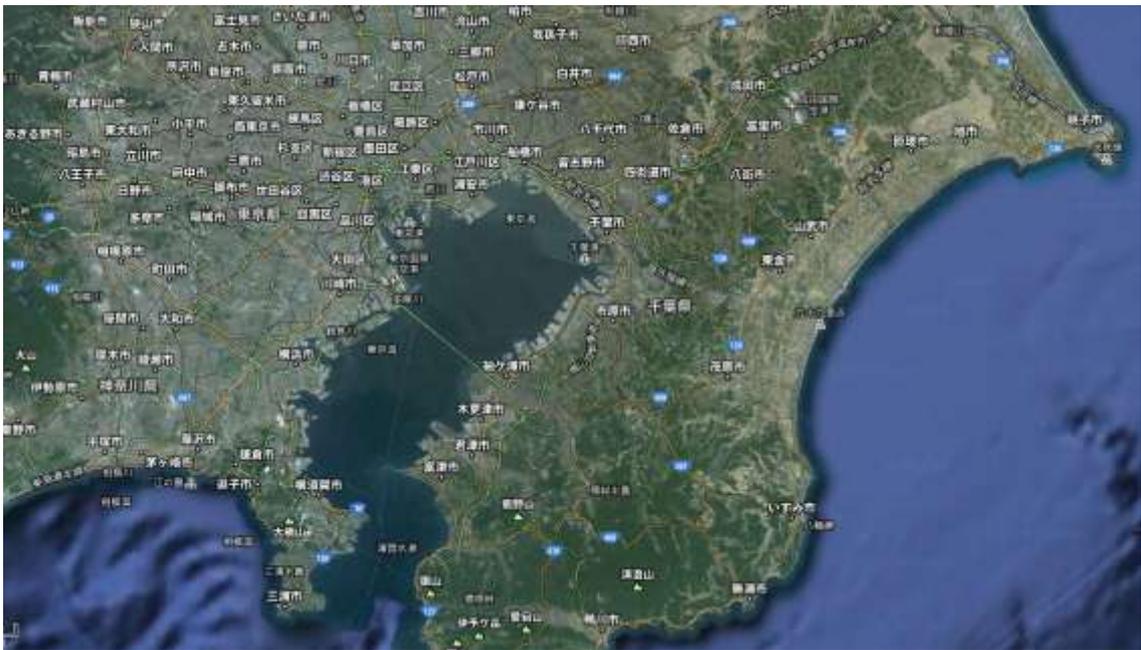


図 3-13 東京湾(関東地方)の航空写真

出典:Google Map

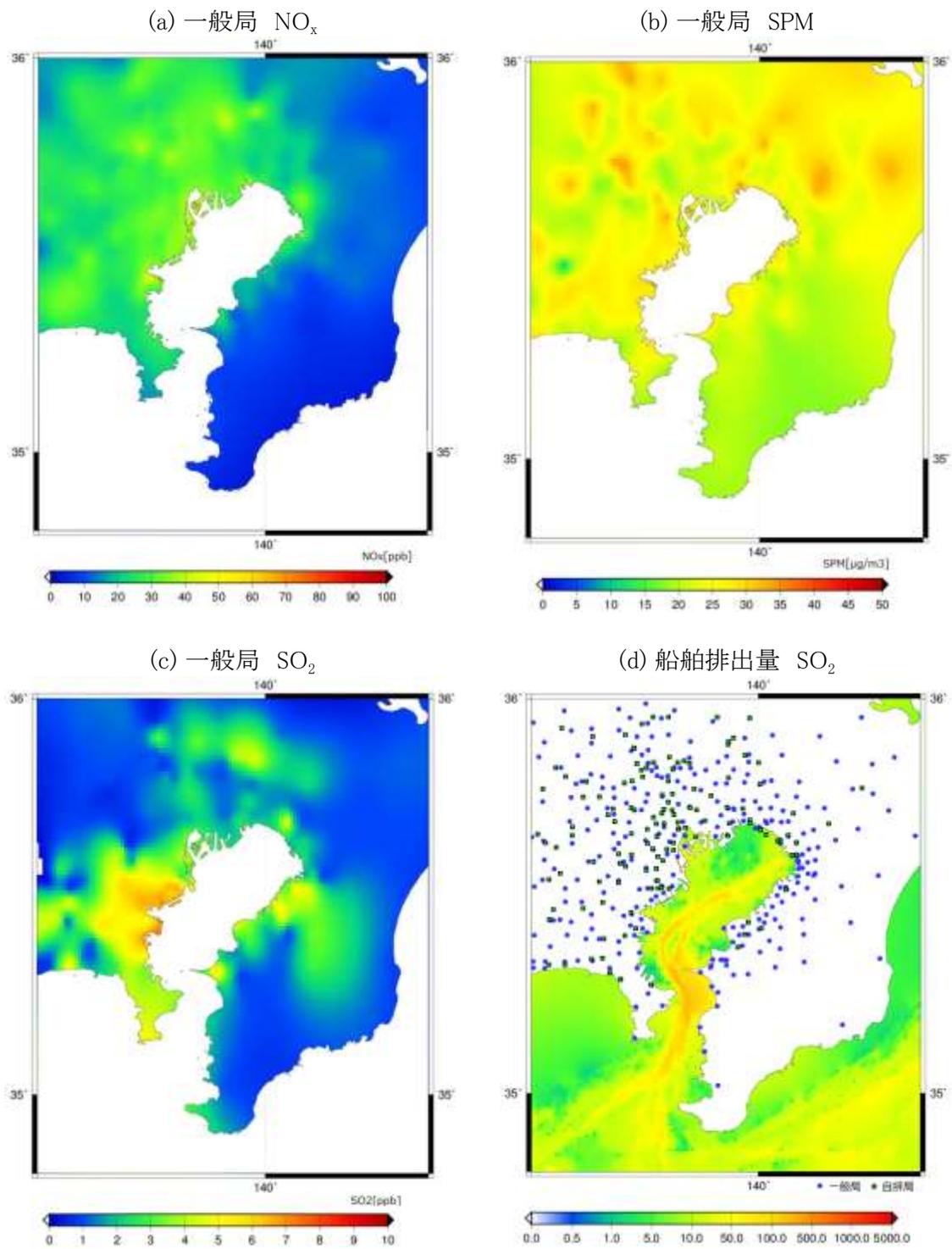


図 3-14 (a)~(c) 東京湾周辺の一般局における年平均値(2008 年)及び  
(d)海洋政策研究財団作成の船舶排出量(図中の●は一般局、■は自排局を示す)

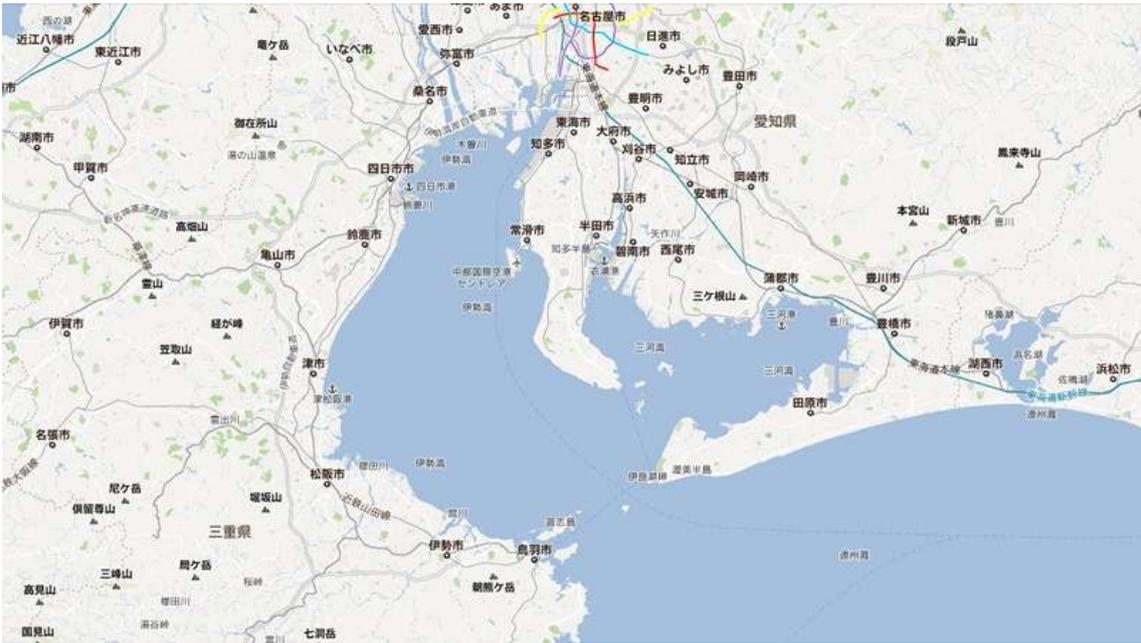


図 3-15 伊勢湾周辺の路線

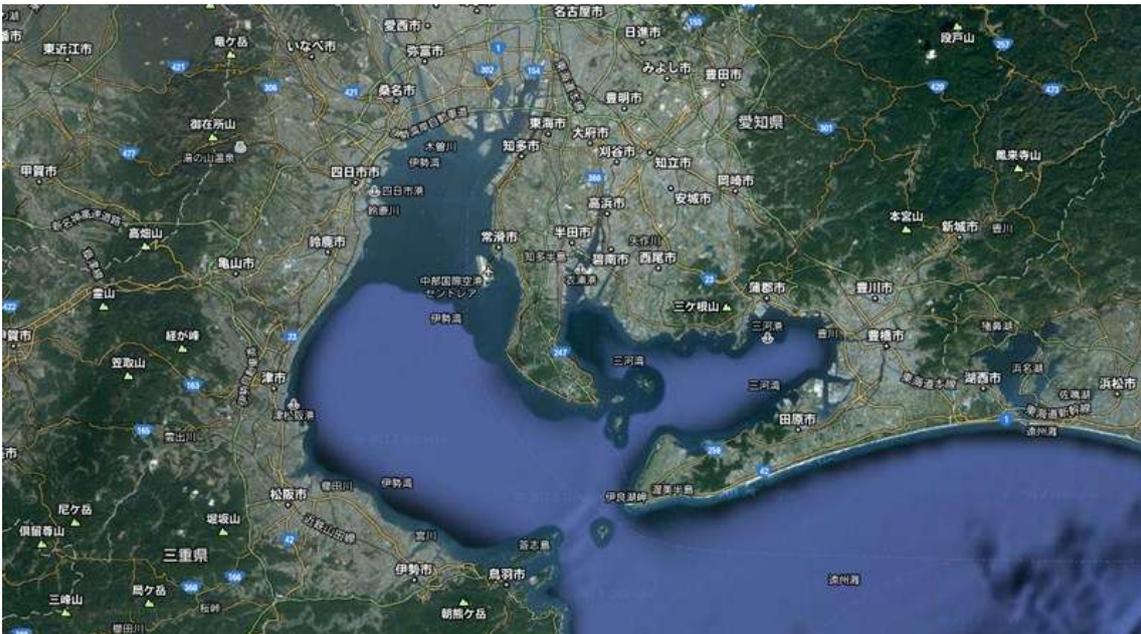


図 3-16 伊勢湾周辺の航空写真

出典:Google Map

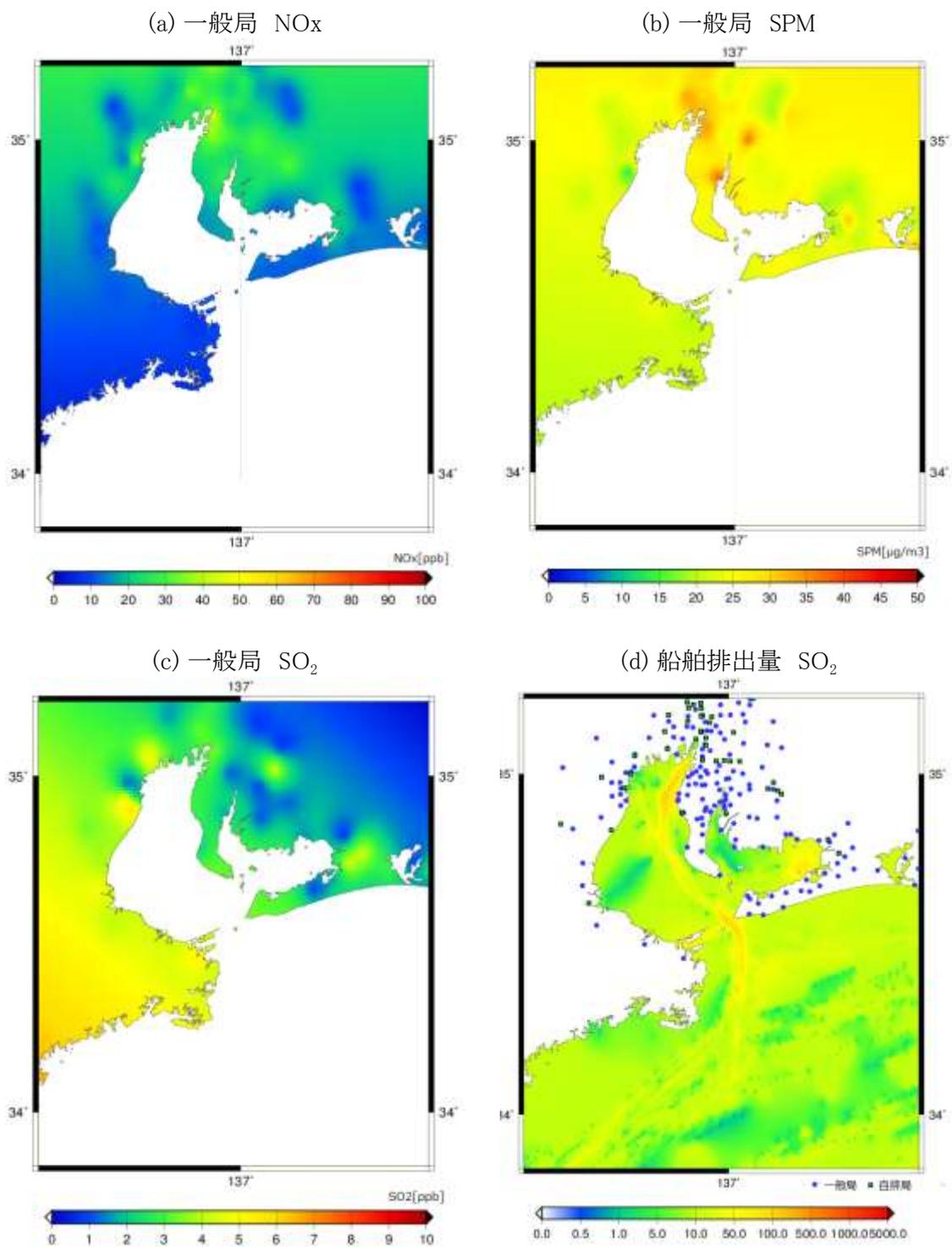


図 3-17 (a)~(c) 伊勢湾周辺の一般局における年平均値(2008 年)及び  
 (d)海洋政策研究財団作成の船舶排出量(図中の●は一般局、■は自排局を示す)



図 3-18 大阪湾周辺の路線

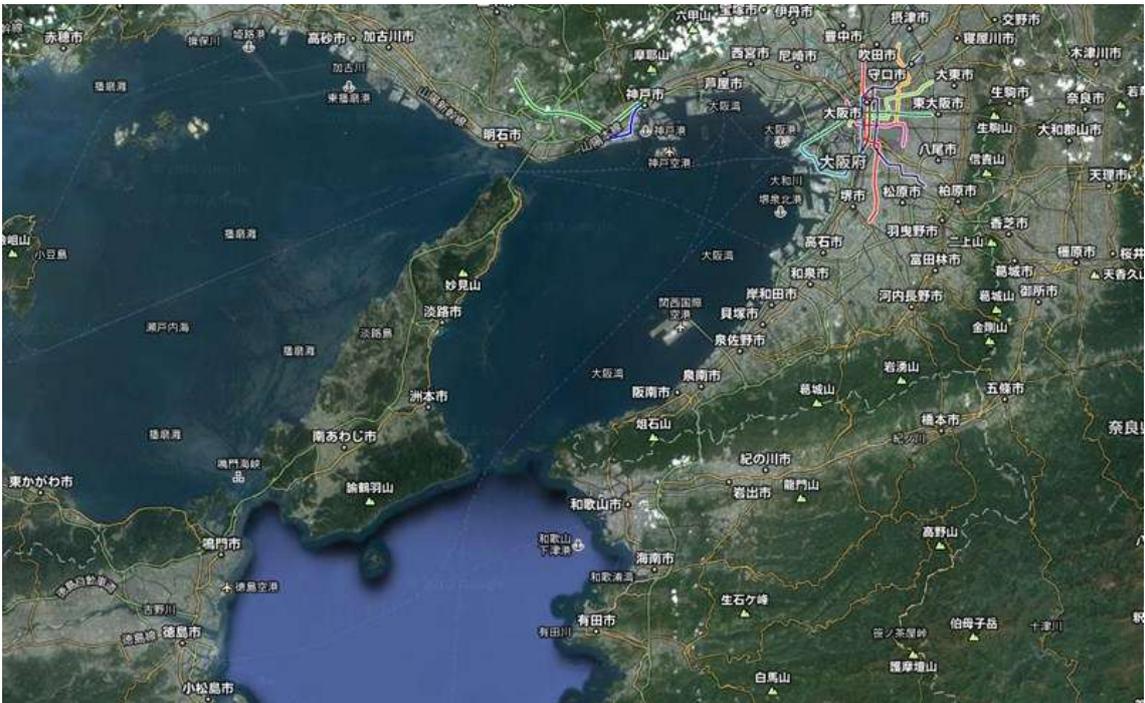
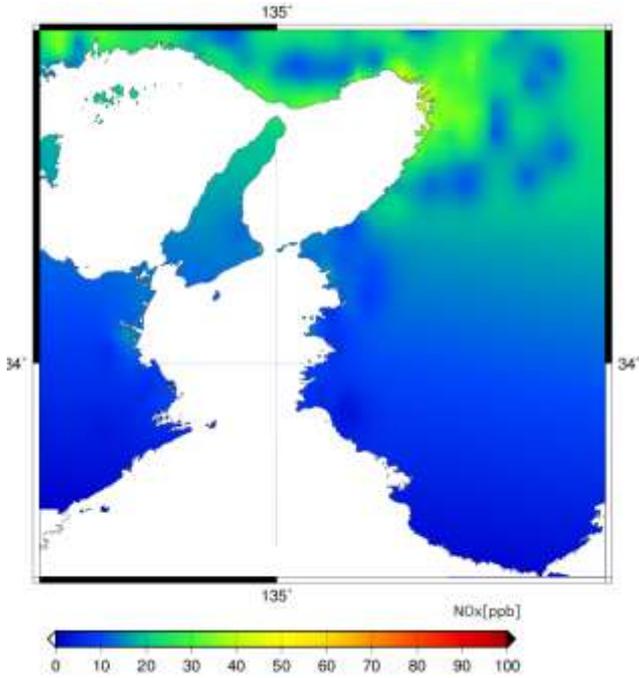


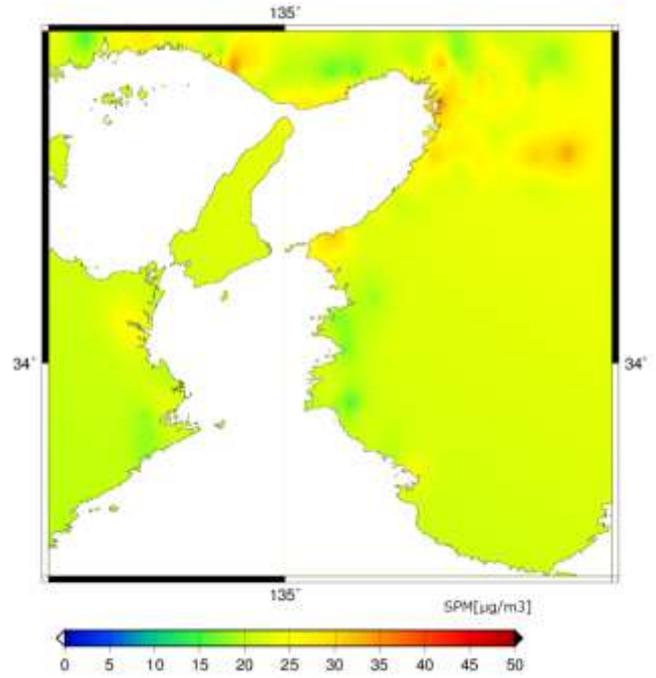
図 3-19 大阪湾周辺の航空写真

出典: Google Map

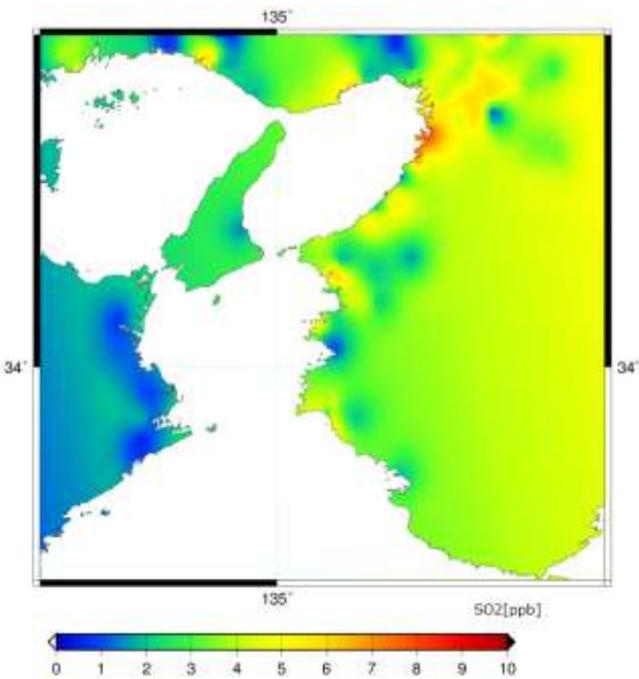
(a) 一般局 NOx



(b) 一般局 SPM



(c) 一般局 SO<sub>2</sub>



(d) 船舶排出量 SO<sub>2</sub>

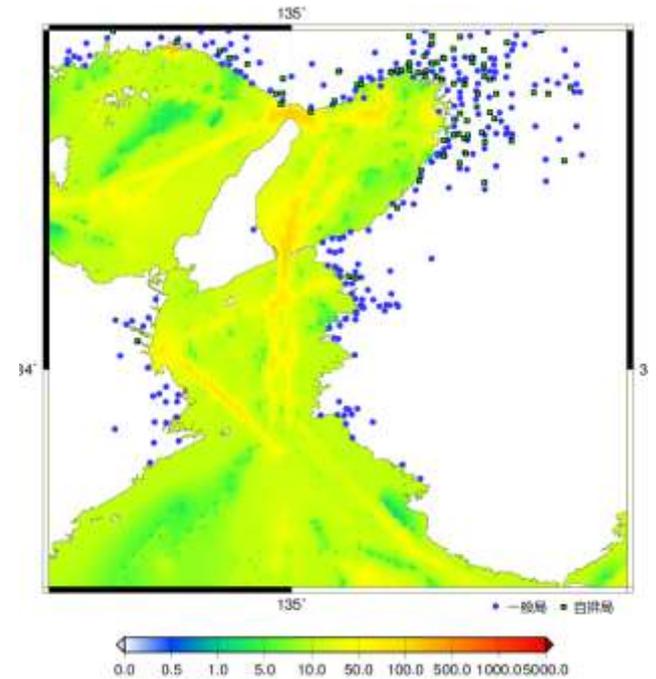


図 3-20 (a)~(c) 大阪湾周辺の一般局における年平均値(2008年)及び  
(d)海洋政策研究財団作成の船舶排出量(図中の●は一般局、■は自排局を示す)

### 3.3.3 実測候補地点選定ための情報収集

ここでは、実測候補地点を具体的に選定するために参考となる情報を収集した。

#### ① 文献調査

船舶排出ガスに関する実測場所を選定する際、特に参考となる文献に次のものが挙げられる。いずれも財団法人シップ・アンド・オーシャン財団による。

- ① 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 III.参考資料 拡散シミュレーションモデルの詳細について(平成 14 年 3 月)
- ② 平成 18 年度及び 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(平成 19 年 3 月及び平成 20 年 6 月)

#### ア) 船舶排出ガスの拡散の予想について

上記の文献①では、東京湾内における航行運行に伴う排出ガスの影響に関して調査研究を行っている。その概要としては、東京湾内の外航船、内航船等のNO<sub>x</sub>及びSO<sub>x</sub>の排出量を算定し、これらの拡散シミュレーションを行って大気環境に対する寄与の程度を評価している。今回船舶の実測計画を検討する観点からは、船舶の煙突高を考慮した拡散の解析事例が参考になる。

図 3-21 に解析事例を示す。煙源から排出されたプルームの拡散濃度分布を風下距離別に示している。ここでは煙源高さ 30m、海上風速 6m/s、煙源強度 0.01Nm<sup>3</sup>/s の条件で計算を行っている。また、拡散シミュレーションの計算結果は、実測値との比較検証により妥当と判断されている。

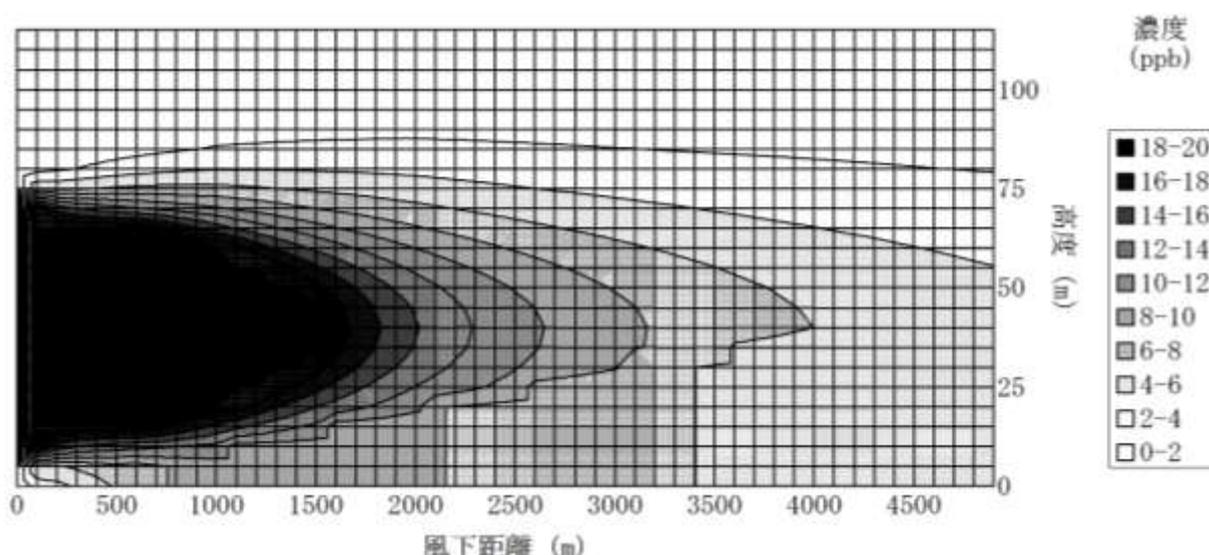


図 3-21 煙源から排出されたプルームの拡散濃度分布の解析事例

#### イ) 大気汚染物質の挙動や拡散範囲の予想等について

上記文献②は、粒子状物質(PM)に関するシミュレーション及び港湾域における PM の調査解析等を行

い、日本周辺での船舶から排出された PM の影響を調査したものである。調査内容は多岐に亘るが、今回計画している実測調査では、船舶周辺における実測調査や考察が参考になる。以下、文献②で調査された内容について記す。

#### a) 船舶周辺における実測調査

平成 19 年度の夏に、東京の青海埠頭 2 地点において大気中 PM<sub>2.5</sub> 及びその成分である SO<sub>4</sub> 粒子を調査した。また解析にあたっては別途得られた SPM 及び SO<sub>2</sub> のデータを併用した。その結果、大型コンテナ船の接岸場所が近い測定点では SO<sub>2</sub> の濃度が高く、時折、濃度の急上昇があり、また、夜間に比べ昼間に濃度が高かったことから、周辺排出源からの局所的な影響が示唆された。他方、PM<sub>2.5</sub> 及び SPM については明確ではなかった。これには次のような理由が考えられた。

- 影響範囲の違い： SO<sub>2</sub> は発生源から比較的近い場所で局所的な影響を及ぼすが、二次粒子を含む PM については、二次生成が十分進むために時間を要し、その間、海風等によりほかの地域に輸送されるため、SO<sub>2</sub> よりも発生源付近で影響が現れにくい。
- バックグラウンド濃度の違い： SO<sub>2</sub> はバックグラウンド濃度が低く安定しているため、発生源からの寄与が濃度変化となって表れやすい。一方、PM はバックグラウンド濃度が高く、広域的な汚染現象による濃度変動も大きいため、発生源からの影響が現地の測定ではとらえにくい。



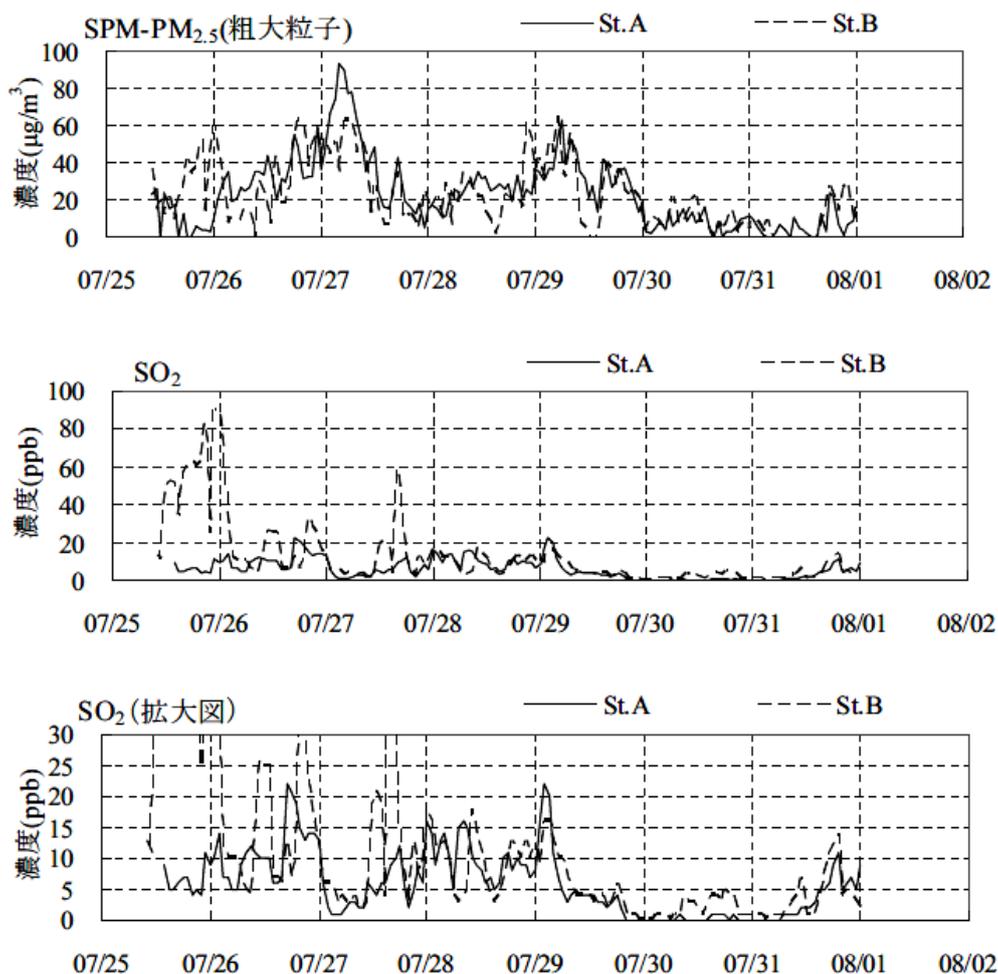


図 3-22 船舶周辺における実測事例

注) SPM 及び SO<sub>2</sub> は東京都測定結果による

#### b) 船舶寄与 SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、PM 濃度の予測

文献②では東京湾地域における船舶の排出ガスに起因するPMの影響範囲を検討するため、大気中二次粒子の濃度予測モデルを用いて、船舶からガスとして排出された NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>の大気中での挙動を調査した。具体的には CMAQ により 2000 年のメッシュ別の NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>、PM 濃度を計算した。

それによると、SO<sub>2</sub> 濃度は年間を通して港湾域周辺で高くなり、これは船舶を含めた港湾域の発生源が大きく寄与しているためと考えられた。船舶の寄与濃度をみると、東京港付近では6月から9月にかけて高くなった。これは、夏季は風が弱く、また海陸風・局地風循環などにより東京湾上空に大気汚染塊が発生しやすい状況がモデルにより再現されているためと考えられた。逆に横浜港付近では、10月から12月にかけて高くなり、これは東京湾奥で排出された排ガスが北風により南側の横浜港付近に輸送されるためと考えられた。

SO<sub>4</sub>粒子濃度は、年間を通じて、計算した東京湾領域ではほぼ一様となったが、4月から8月にかけて港湾および湾外航路周辺で濃度がやや高くなった。このように SO<sub>4</sub> 粒子が広く分布して見られたのは、領域外から移流してきた二次粒子によるものと推察された。また8月には三宅島噴火の影響も考えられた。

NO<sub>2</sub>濃度は、都心部を中心に10月から4月にかけて高くなったが、主に自動車などの移動発生源によると考えられた。一方、船舶寄与濃度でみると5月から9月にかけて高くなり、特に8、9月の東京湾外の航路付近の船舶寄与割合が顕著となったと報告されている。

#### ウ) まとめ

以上の知見から、今回計画している実測調査に関して、次のように述べることができる。

- SO<sub>2</sub>については、船舶の影響が反映されやすいことから、ある程度の影響が改めて示唆された。
- PM については実測を行っても明確に影響が現れにくいことが予想された。仮に都市域からの移流が少ない条件で調査を行ったとしても、バックグラウンド濃度と船舶の影響濃度とを区別することが重要と考えられる。
- NO や NO<sub>2</sub>に関しては、夏に航路付近で寄与が高くなることが示唆されたが、測定結果には他の排出源の影響も混在することが予想される。したがって、船舶の影響を区別する方法を検討することが必要である(複数地点での測定等)。

#### ② 実測候補地点周辺における常時監視測定局の濃度データの解析等

はじめに、測定候補地点の周辺で濃度が高い傾向があるかどうかを確認するために、東京湾及び伊勢湾の濃度分布を解析した。その結果、SO<sub>2</sub>では船舶排ガスの影響がある可能性が示唆されたが、NO<sub>x</sub>やSPMではSO<sub>2</sub>ほど明確ではなかった。これは前述の文献調査に基づく予想とも整合している。なお、より船舶排出ガスの影響が直接的に測定できているかを調査するために、実測候補地点周辺の既存の常時監視測定データを用いて月別の濃度を解析したが、文献調査でも示唆されたとおり、NO<sub>x</sub>やSPMの濃度と風向には明確に傾向が表れなかった。(別添2にまとめてデータを記載した)

### ③ 月別の風向の傾向

都市圏から測定候補地点周辺へ大気汚染物質が飛来することが少ない季節を見極めるために、東京湾、伊勢湾周辺にあるアメダスの風向データを月別に解析した。その結果、木更津では5月頃から南よりの風が卓越し、この傾向は7月頃まで見られた。冬季では夏季に比べて明確な傾向は見られないが北よりの風が観測されることが夏より多かった。伊勢湾の伊良湖アメダスでは、木更津ほど明確に夏季の風の傾向が表れなかったが、南よりの風が吹くことが比較的多い。また冬季には北よりの風が多い。

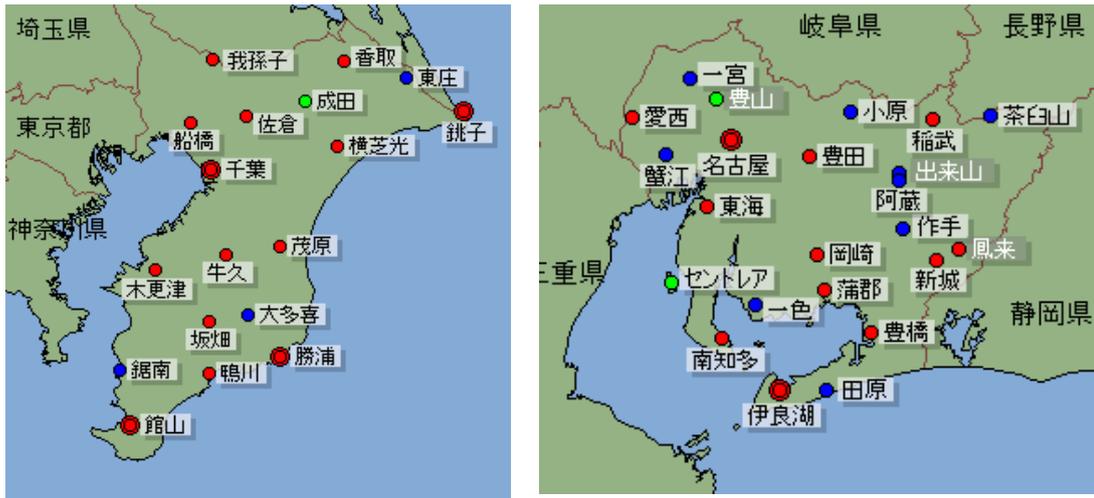


図 3-23 気象観測地点の位置；千葉県及び愛知県

出典) 気象庁 hp

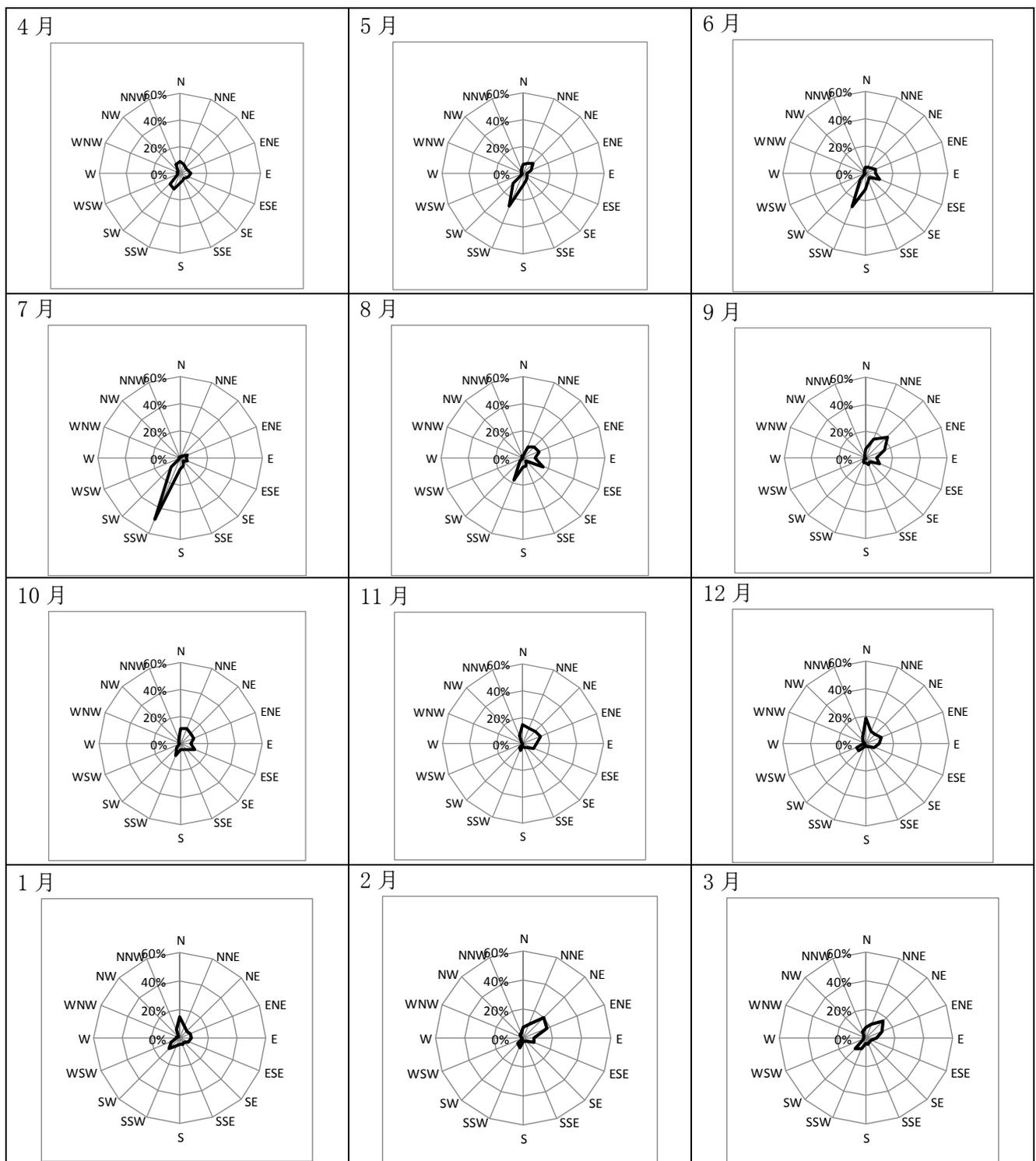


図 3-24 木更津アメダスの月別風向(2009 年)

注) 観測された回数を、解析対象月のデータ数で除した値  
 出典) 気象庁 hp

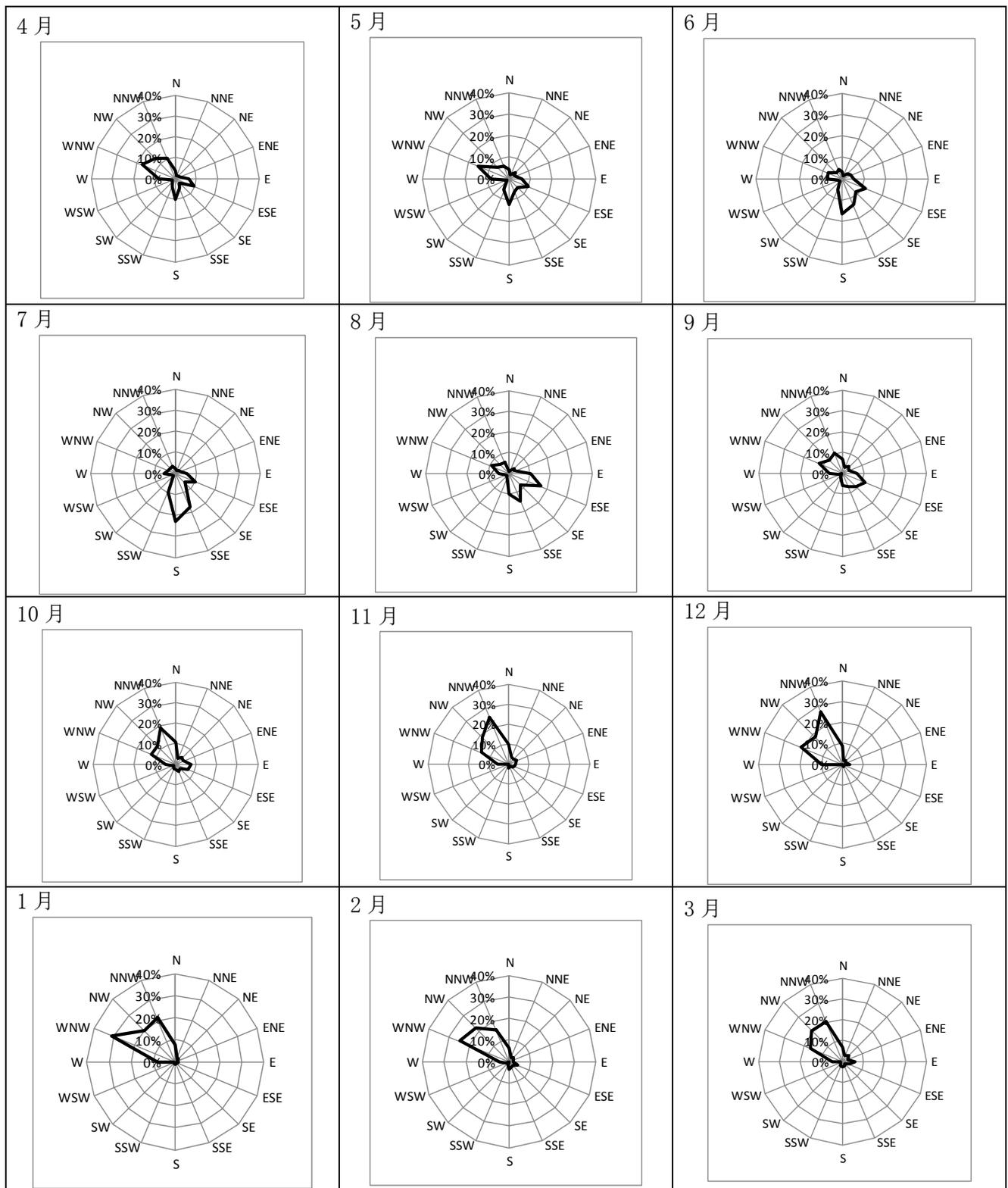


図 3-25 伊良湖アメダスの月別風向(2009年)

注) 観測された回数を解析対象月のデータ数で除した値  
 出典) 気象庁 hp

#### ④ まとめと今後の課題

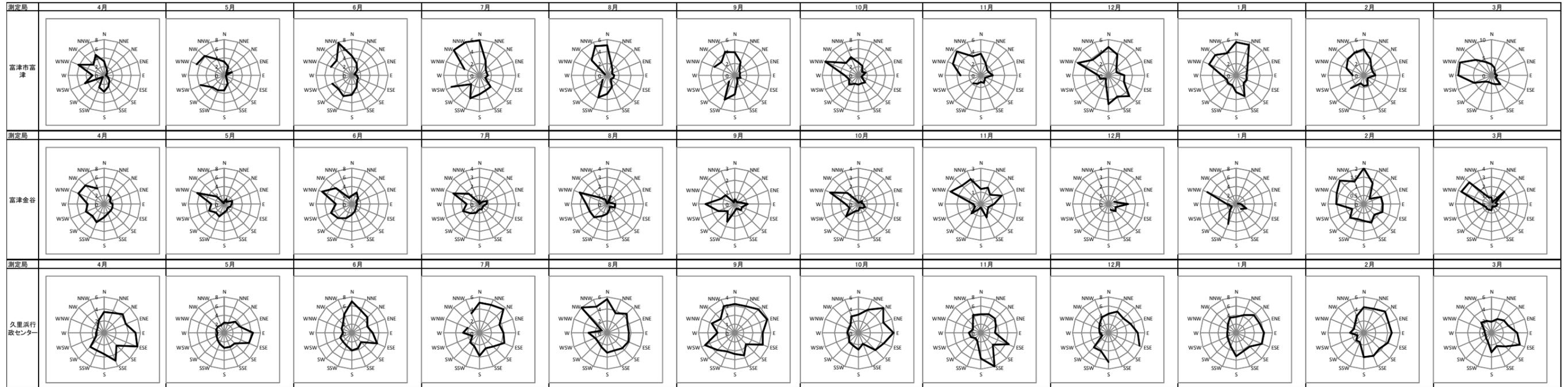
昨年度の調査にて、港湾周辺の常時監視局測定値の集計を行った結果、港湾からの距離が近い測定局程  $\text{SO}_2$  濃度が高い傾向が見られた。一方、港湾の周辺には、工場や発電所等の船舶以外の排出源もあるため、より定量的に船舶の排ガス影響を把握するためには、船舶排ガスとそれ以外の排出源とを切り分ける必要がある。これらを行うためには、船舶以外の顕著な排出源の無い地点にて実測調査を行うことが望ましい。

船舶の排ガスを把握する際は、「停泊中」と「航行中」の二通りに分けて考える必要がある。このうち、前者に関しては、停泊中の船舶の近隣に港湾施設や工場等の排出源がある場合が多く、これらの切り分けを行うことが困難であると考えられる。そこで、本調査では、航行中の船舶排ガス影響を測定することを目的に、船舶航行隻数の多い 3 大港湾(東京湾、伊勢湾、大阪湾)を対象に、常時監視局測定値及び海洋政策研究財団にて作成された船舶航行時における排出量データを用いて設置の可能性を検討した。その結果、東京湾では、周辺の常時監視局における  $\text{SO}_2$  濃度が高く、近隣の航路(浦賀水道)における航行中の船舶排出量が多いことから、神奈川県(観音崎灯台付近及び三浦半島南部)が適切と考えられる。伊勢湾では、湾内に入港するほぼ全ての大型商船が渥美半島と神島の間(伊良湖水道)を通過するため航行中の船舶排ガスの影響を強く受ける可能性があり、かつ、船舶以外の顕著な排出源が無いことから、神島にて実測することが望ましいと考えられる。

測定物質に関して、船舶は硫黄成分を多く含む重油を燃料としているため、 $\text{SO}_2$  排出量が他の排出源に比べて大きく、指標として適切と考えられている。また、大気中に排出された  $\text{SO}_x$  ガスは、比較的速やかに粒子化するため、PM に関しても実測することが望ましい。海洋政策研究財団(2007)では、船舶排気の PM の成分調査を実施し、その結果、 $\text{SO}_4^{2-}$  が最も多く 40% を占め、次いで OC が約 24%、EC が約 16% とされていることから、 $\text{SO}_4^{2-}$  が船舶排ガスの指標として適している可能性があるため、実測対象とすることが望ましい。

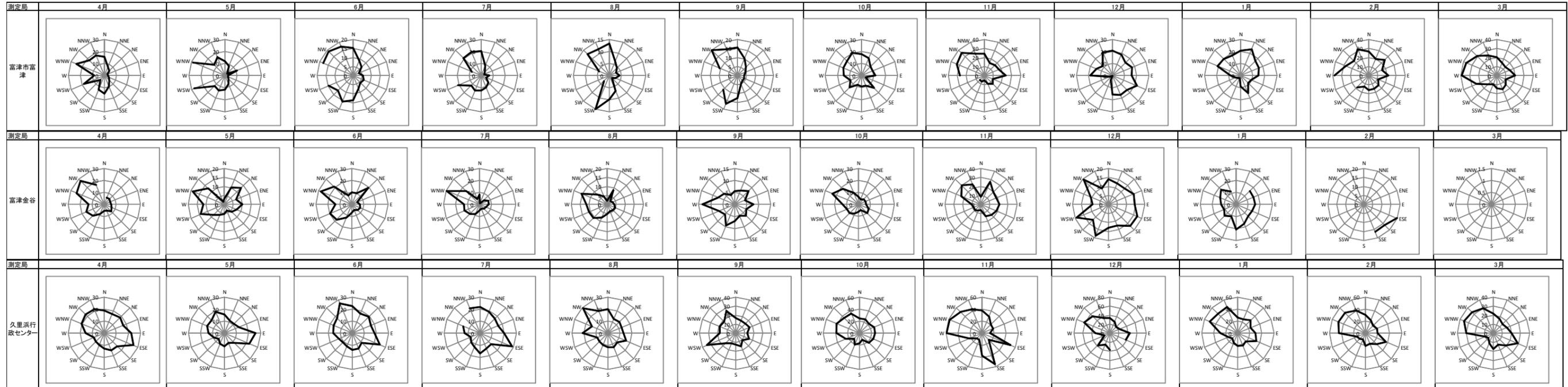
今後、具体的に実測調査を進める際には、航行中の船舶排出量データを用いてブルーム・パフモデル等による拡散シミュレーションを実施し、影響を受ける可能性が高い地点及び、実施時期(季節)を選定する必要がある。他方、航行中の船舶からの排ガス量は、航行速度に比例し、速度が速い程排出量も大きくなる。また、大型商船の場合、実煙突高が 40m 以上になることもあり、排出源から離れた地点により影響を与える可能性がある。このように、船舶特有の排出実態を事前に抑えることが重要であり、実測地点及び調査項目を選定する際には、近隣海域の船舶航行実態を調査し、拡散シミュレーションの結果と併せて総合的に判断する必要がある。

表 3-10 風向別濃度の月平均値(SO<sub>2</sub>(ppb);2009年);東京湾周辺



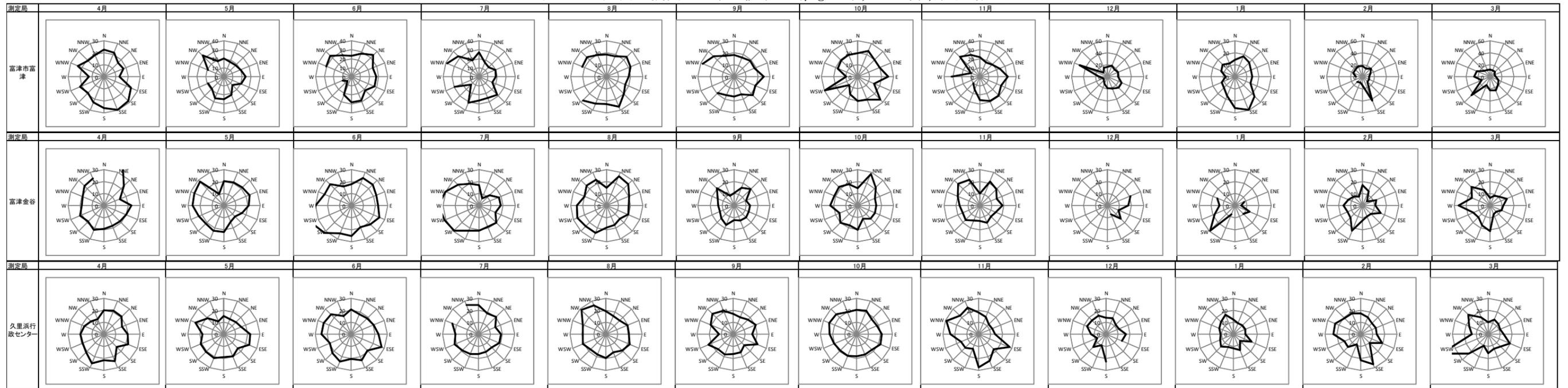
注) 観測回数が2回未満は表示していない。  
出典) 国立環境研究所 hp

表 3-11 風向別濃度の月平均値(NO<sub>x</sub>(ppb);2009年);東京湾周辺



注) 観測回数が2回未満は表示していない。  
出典) 国立環境研究所 hp

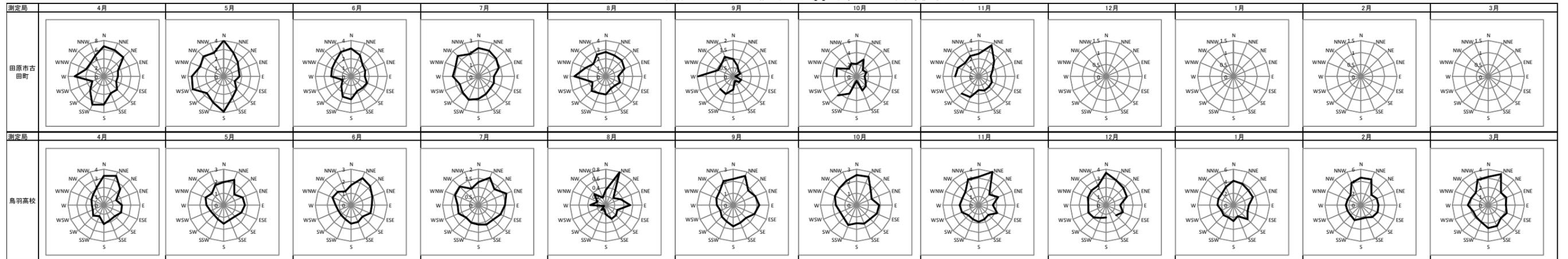
表 3-12 風向別濃度の月平均値(SPM( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ); 2009年); 東京湾周辺



注) 観測回数が2回未満は表示していない。

出典) 国立環境研究所 hp

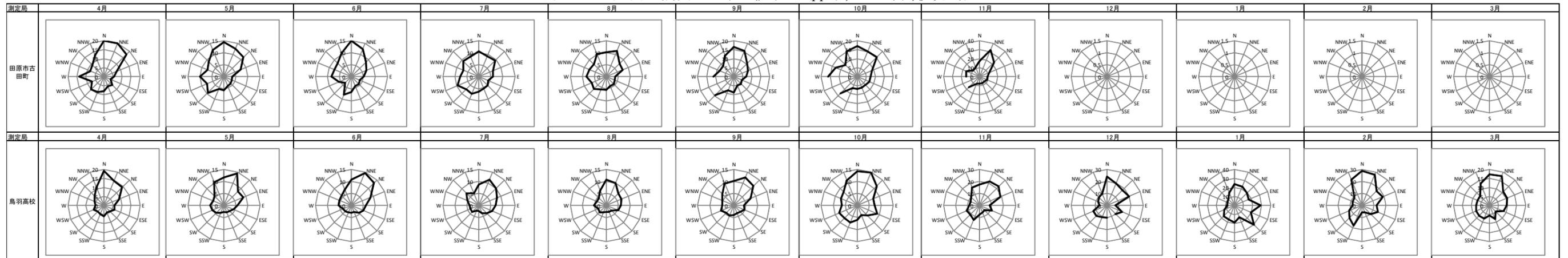
表 3-13 風向別濃度の月平均値(SO<sub>2</sub>(ppb); 2009年); 伊勢湾周辺



注) 観測回数が2回未満は表示していない。

出典) 国立環境研究所 hp

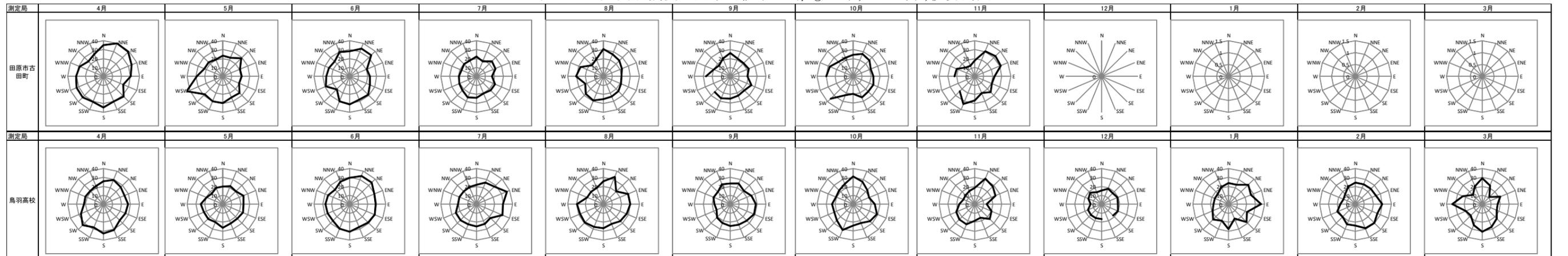
表 3-14 風向別濃度の月平均値(NOx(ppb);2009年);伊勢湾周辺



注) 観測回数が2回未満は表示していない。

出典) 国立環境研究所 hp

表 3-15 風向別濃度の月平均値(SPM( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ );2009年);伊勢湾周辺



注) 観測回数が2回未満は表示していない。

出典) 国立環境研究所 hp

## 第4章 国際動向等

### 4.1 船舶・航空機排出ガスに係わる規制、対策等の国際動向

船舶及び航空機からの排出ガス対策については、船舶では国際海事機関(IMO)、航空機では国際民間航空機関(ICAO)において、それぞれ国際的な枠組みの中で規制強化の論議が進められている。平成 22 年度調査では、船舶・航空機それぞれの最新の国際基準を整理するとともに、各国際機関における動向を調査した。さらに船舶に関しては、IMO の基準より先行している欧州及び米国カリフォルニア州における施策を調査した。

本年度調査では、IMO 及び ICAO におけるその後の動向を中心に調査した。

#### 4.1.1 IMO の動向

船舶排出ガスの削減については、船舶からの大気汚染防止に関する規則(MARPOL 条約附属書 VI)で定められているが、その改正案は IMO の海洋環境保護委員会(MEPC)で審議・採択される。平成 23 年 7 月 11 日から 15 日まで第 62 回会合(MEPC62)が開催された。本調査に関連する主な結果を次に示す。

##### ① 米国カリブ海(プエルトリコ周辺海域)ECA 指定

MEPC62 の 1 つ前の会合(MEPC61)で米国カリブ海の ECA 指定が米国から提案されていたところ、MEPC62 での審議の結果、米国カリブ海(プエルトリコ周辺海域)を ECA として指定するための MARPOL 条約附属書 VI 改正案が採択された。この改正案は、2013 年 1 月 1 日に発行する予定となっている。

また北米 ECA(米国(ハワイ含む)・カナダ沿岸 200 海里の一部)は 2011 年 8 月 1 日に発効したが、ECA 内の船舶に対して義務づけられる低硫黄燃料については 12 ヶ月間の適用猶予期間が設定されていることから、北米 ECA の適用は 2012 年 8 月 1 日、米国カリブ海 ECA の適用は 2014 年 1 月 1 日であることが明記された。

##### ② NO<sub>x</sub>テクニカルコードの改正等

MARPOL 附属書 VIにおいて、2016 年 1 月 1 日以降に建造される船舶に搭載されるエンジンは、排出規制海域(これまで、北海・バルト海、北米・ハワイ周辺海域及び米国カリブ海(プエルトリコ周辺海域)の 3 つの ECA が指定されている)において、その NO<sub>x</sub> 排出量に関し、2000 年 1 月 1 日以降 2010 年 12 月 31 日までに建造される船舶に搭載されたエンジンと比較して約 80%削減することが要求されている(NO<sub>x</sub>3 次規制:Tier III)。なお、NO<sub>x</sub> 排出規制に適合するためのエンジンの認証方法については、「NO<sub>x</sub> テクニカルコード 2008」に規定されている。

Tier IIIを満たすために選択触媒還元(SCR)に代表される NO<sub>x</sub> 低減装置をエンジンに外付け搭載することが想定されているが、大型エンジンの場合は SCR を搭載した状態での排ガス試験が事実上困難であることが指摘されていた。これを受けて、SCR の円滑な認証を図る観点から、MEPC62 では我が国から、SCR とエンジンを別々に試験でき、かつ、NO<sub>x</sub> 排出量の船上確認計測については代表的なエンジンのみ必須とし、その他については当該計測を省略可能とする「SCR 認証ガイドライン案」及びこれに伴う NO<sub>x</sub>テクニカルコード 2008 改正案を提案し、審議の結果それぞれ採択及び承認

された。

なお、次回 MEPC63(平成 24 年 2 月 27 日から 3 月 2 日まで開催)では、これを反映した NO<sub>x</sub> テクニカルコード改正案が採択される見込みとなっている。

出典) IMO に関する記述は主に、IMO、国土交通省、海上技術安全研究所の公表資料を参考にした。

#### 4.1.2 ICAO の動向

航空機排出ガスの削減については「国際民間航空機条約(シカゴ条約)附属書 6」で定められているが、その改正案は ICAO の航空環境保全委員会(CAEP)で審議・採択される。CAEP は約 3 年に 1 回開催されるが、最新の第 8 回会合(CAEP/8)は平成 22 年 2 月に開催され、その動向は平成 22 年度調査で報告した。次回 CAEP/9 の開催は平成 25 年に予定され、これのための準備が現在 3 つの作業部会(WG)で進められている。

WG1 では主に騒音に関する技術的検討、WG2 では飛行場周辺の環境保全及び運行等に関する検討、WG3 では主に航空機エンジンの排出ガスに関する技術的検討を行う。ここでは WG3 のなかの PM 規制の動向について紹介する。

##### ① 背景

航空機エンジン排出ガス中の微粒子(PM)の規制については、これまで、PM の体積あたりの総重量で規定されてきたが、この方法では、大きな粒子 1 つでも、多数の小さな粒子でも、総重量が同じなら同じ扱いになってしまう。人体への影響に関しては、小さな粒子が多数あるほうが健康に与える影響が大きいことが懸念されていることを踏まえ、将来的に航空機エンジン排出ガス中の粒子数も規制する方針を打ち出し検討を進めている。

##### ② 総重量による規制から粒子数による規制への課題

航空機エンジン排ガス中の PM の主成分は未燃の炭素で、あまり出力が高くない時に燃料方の状態で拡散燃焼すると PM が発生することが多いといわれている。排気ガス中の PM 濃度(総重量濃度)は、航空機エンジン排出ガスを透過させたフィルタの光の反射率(汚れ)を計測し、これを重量密度(g/m<sup>3</sup>)に読み替えて評価されるが、測定方法は安定しているとされている。

一方粒子数の測定方法はこれまでと全く異なる方法が必要であり、粒径ごとの粒子数分布を計測するが、採取ガスの希釈方法やガスを通す配管の長さや口径、温度などによって同じ排ガスでも測定結果が異なることが報告されている。このように安定した測定方法の開発が課題となっている。

出典) CAO に関する記述は主に、航空環境研究 No.15, 2011(財団法人空港環境整備協会航空環境研究センター)を参考にした。

## 4.2 船舶排出ガスによる健康・生態系への影響

### 4.2.1 背景

船舶からの大気汚染物質排出基準を一般海域より低く設定した放出規制海域(Emission Control Area:ECA)を導入する国際的な動きがある。2010 年には北米 ECA の設置が合意された。この合意にあたって、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、先行事例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。

平成 22 年度調査では、船舶から排出される主な大気汚染物質を抽出し、これらの健康への影響及び生態系への影響に関する知見を文献レビューにより収集した。その結果、我が国における船舶排出ガスからの健康や生態系への影響評価を主眼とした調査事例はほとんど得ることができなかった。

そこで本年度調査では、このような事例として、日本で ECA 指定を IMO へ申請する場合に適切と考えられる評価手法、評価モデル等について検討している、財団法人シップ・アンド・オーシャン財団(海洋政策研究財団)の調査を紹介する。<sup>8</sup>

#### 4.2.2 海洋政策研究財団の調査事例

##### ① 調査事例の概要

北米 ECA 指定の申請では、健康影響評価モデルとして早期死亡数(premature death)や疾病発生数等を指標とする「BenMAP」(Environmental Benefits Mapping and Analysis Program)が使用された。また生態系評価に関しては、例として、土壌酸性化を評価する「臨界負荷量」や、無機・有機体窒素の沈着量を指標とした評価手法や、地表オゾンのクリティカルレベルを指標とした「AOT40」(Accumulated Exposure Over Threshold of 40 ppb)等がある。しかし、このような摂取量との相関関係に基づくモデルにおいては、気候風土が大きく影響するとともに、人口構成によっても大きく結果が異なってくるため、ここで紹介する調査は、既存の欧米モデルをそのまま我が国に適用することについては慎重な検討が必要であるとして、既に国内外で実績のある手法を調査し、我が国への適用可能性について検討した。

##### ② 健康への影響

この調査事例では、北米 ECA の申請で使用され、一般に公開されている BenMAP が適用可能性が高いとされた。このモデルの利用方法としては、北米 ECA の申請と同様の評価手法を用いて、大気汚染濃度及びその影響として算出される早期死亡数や疾病発生数を、船舶からの排出量を考慮して計算した場合と船舶からの排出量をゼロとして計算した場合との差異をとって船舶の影響とみなすことが可能とされている。北米 ECA 申請においては、例として PM2.5 について表 4-1 のような BenMAP による計算結果が示され、ECA 設定の有無により将来的な健康影響が早期死亡や患者数等の健康指標で表現された。

<sup>8</sup> 平成 22 年度 排出規制海域設定による大気環境改善効果の算定事業報告書、平成 23 年 3 月、海洋政策研究財団(財団法人 シップ・アンド・オーシャン財団)

表 4-1 PM2.5 についての全米での健康影響の計算結果

健康影響	2020 年における船舶に起因する発生数 (ECA 設定しないケース)	2020 年における ECA 設定した場合の船舶に起因する発生数の減少分
早期死亡		
成人、30 歳以上、コホート研究事例	4,300	3,400
成人、25 歳以上、6 都市での研究事例	9,800	7,800
乳児、1 歳未満	16	12
慢性気管支炎 (成人、26 歳以上)	4,300	3,300
非致死性の心筋梗塞 (成人、18 歳以上)	8,900	7,200
入院：呼吸器疾患 (全年齢)	990	780
入院：循環器系疾患 (成人、18 歳超)	2,100	1,600
喘息による緊急外来 (18 歳以下)	2,500	1,900
急性気管支炎 (子供、8-12 歳)	11,000	8,500
下部気道症状 (子供、7-14 歳)	84,000	66,000
上部気道症状 (喘息の子供、9-18 歳)	62,000	48,000
喘息悪化 (喘息の子供、6-18 歳)	79,000	62,000
労働損失日数	580,000	460,000
軽い活動制限日数 (成人、18-65 歳)	3,400,000	2,700,000

なお、実際に我が国で BenMAP を用いた評価を行う場合は、船舶や他の排出源からの大気汚染物質の排出量を算定し、これに基づき大気汚染濃度分布を予測する等、幾重もの作業が必要である。また、大気汚染濃度から早期死亡数や疾病発生数等を求める関数 (C-R Function : Concentration-Response Function) は、米国での設定を基に、利用可能な日本独自のデータを用いて部分的に修正して使用することが検討された。

### ③ 生態系への影響

この調査事例では、酸性物質の沈着を原因とする酸性化と富栄養化、及び地表オゾンの植生に対する影響について、それぞれ評価モデルを検討した。酸性化については、船舶排出ガスに起因する酸性物質の沈着量 (湿性及び乾性)、富栄養化では全窒素の沈着量 (湿性及び乾性) を指標とし、地表オゾンの植生に対する影響については、AOT40 を指標として評価することの可能性が検討された。いずれの手法においても、前述の健康影響と同様、全国的な排出インベントリの整備及び大気中の挙動予測や濃度予測のためのシミュレーションを用いることが想定された。

なお、生態系への影響を評価する場合、酸性沈着量、富栄養化や地表オゾンによる動植物の多様性、数等が思い起こされるが、この調査事例では、健康影響で示されたような C-R Function を得ることが当面困難とする調査結果となった。

## 第5章 まとめ及び今後の課題

### 5.1 航空機

#### 5.1.1 飛行場周辺の大気環境の把握

本調査では、航空機排出ガスに対する施策について、その必要性も含めて検討することを目標としているが、そもそも航空機の影響を受けると考えられる場所である飛行場周辺の大気汚染の状況が未把握であったことから、平成 22 年度調査において、飛行場周辺での NO<sub>2</sub>、SPM、CO、及び NMHC の常時監視測定局データ並びに空港管理会社等の自主測定局データを、成田国際空港、羽田空港、中部空港及び伊丹空港について解析した。本年度調査では、我が国の飛行場周辺におけるより平均的な大気環境の状況を把握するために、発着数の多い 20 飛行場を対象に解析を行った。その結果、今回解析したいずれの物質でも、飛行場周辺の濃度と我が国の一般的な濃度との間に顕著な差異はなく、また飛行場に近いほど濃度が高い、あるいは低いといった傾向は認められない状況であった。また NO<sub>2</sub> と SPM については、我が国では一般的に近年改善傾向であるが、この傾向は飛行場周辺でも同様であった。

#### 5.1.2 成田国際空港におけるモニタリングデータの詳細解析及び実測調査

平成 22 年度調査において、飛行場周辺の大気環境を把握するため、発着陸回数の多い成田国際空港、羽田空港、中部空港、伊丹空港を対象に、飛行場周辺のモニタリングデータ(常時監視局及び空港管理会社における自主測定局の NO<sub>2</sub>、SPM、CO、NMHC 濃度の 1 時間値)の集計を実施した。その結果、NO<sub>2</sub> に関しては、飛行場に近づくほど濃度が高くなる傾向が見られ、航空機排ガスまたは、空港関連施設からの排ガスが、周辺の大気環境に影響を与えている可能性があることが示唆された。他方、それ以外の物質に関しては、飛行場直近とそれ以外とで特徴的な違いは見られなかった。

一方で、常時監視局は、一般的な大気環境(一般局)及び自動車排ガスの影響(自排局)を把握することを目的に、それに適した地点に設置されているため、必ずしも航空機排ガスの影響を把握するのに適した地点のデータを使用しているとは限らない。また、航空機排ガスの影響範囲、程度は風向・風速等の大気の状態に強く依存するため、より定量的に航空機排ガスの影響を把握するためには、これらを考慮した詳細な解析が必要である。

これらを踏まえ、今年度の調査では、成田国際空港を対象にモニタリングデータ(空港周辺の常時監視局測定値、空港管理会社における自主測定局測定値)を用いて詳細な解析を実施し、併せて、滑走路中央付近と空港外の計 2 地点に実測地点を設置し調査を行った。

##### ① モニタリングデータの詳細解析

航空機排ガスが、周辺の大気環境に与える影響をより定量的に把握するため、既存のモニタリングデータを用いて詳細解析を行った。その結果、滑走路内の測定値は、周辺の常時監視局と近い時間変化の挙動を示し、濃度レベルも同程度だった。

また、A 滑走路北局及び A 滑走路南局における風向・風速別 NO/NO<sub>x</sub> 比に関する解析を実施した結果、航空機の運航時間中(6-23 時)は、滑走路方向から風が吹く際に NO の比率が高くなっ

ており、特に A 滑走路南局で北西よりの風が吹く際に約 50%まで上昇している。これら NO 比率の上昇は、風速に比例して大きくなっている。これは、風速が大きい程、排出後に大気中で酸化して NO<sub>2</sub> になる前に測定地点に到達する可能性が高いことが原因と考えられる。

滑走路の南北の濃度差(局所濃度)から滑走路内の排出量を算出した。その結果、航空機の運航時間中は、北西～北北西風が卓越する際にそれ以外の風向に比べて 30～50ppb 程濃度が高くなっており、特に、風速が大きい程その影響は顕著である。従って、NO<sub>x</sub> に関しては、ある程度航空機排ガスが周辺の大気環境に影響を与える可能性があることが示唆された。

航空機排ガスの風速依存性に関する調査を実施した。その結果、運航時間内の局所濃度は、風速 4.0m/s 以上になると風速に比例して上昇する傾向が見られた。それに対して、運航時間外は、風速に反比例して濃度が小さくなる傾向が見られた。

## ② 成田国際空港における実測調査

成田国際空港を対象に実測調査を実施した。その結果、NO<sub>2</sub>、PM2.5 共に、滑走路の直近の測定結果でも概ね環境基準を達成する可能性が高いことが示唆された。また、粒径別粒子状物質の測定結果によると、航空機排出ガスに含まれる粒子は、粒径 10～20nm(0.01 μm～0.02 μm)程度のナノ粒子が大量に排出されていることが強く示唆された。

## ③ 今後の課題

今年度は、成田国際空港を対象としてモニタリングデータの詳細解析及び実測調査を実施し、滑走路直近の測定局でもNO<sub>2</sub> の環境基準は達成する可能性が高いことが確認された。一方で、NO の濃度は高い値となり、これらは移流する過程で酸化し NO<sub>2</sub> となるため、潜在的に NO<sub>2</sub> 濃度に影響を与えている可能性がある。

空港内の粒子状物質に関して、PM2.5 濃度は、NO<sub>2</sub> 同様に滑走路直近の空港内測定地点(地点 1)においても環境基準を達成する可能性が高いが、一方で、SMPS の測定結果(粒径別粒子数)から航空機排ガス中にナノ粒子が大量に含まれている可能性が強く示唆されており、これらの粒子が大気中で凝集・成長することで、発生源から離れた地点の PM2.5 濃度により大きな影響を与える可能性がある。

これらの大気中での動態を把握し、周辺の大気環境に与える影響を定量的に評価するためには、シミュレーションを実施することが望ましい。航空機排ガスのシミュレーションを実施する際の例としては、まず、機種別・エンジン別のフライトデータに、エンジン別の排出係数を掛けて航空機の LTO サイクル当たりの排出量を算出する。次に、空港施設からの排出量及び、空港近隣の自動車の排出量を推計し、METI-LIS 等のプルーム・パフモデルを用いて拡散シミュレーションを行う。最後に、今回の実測調査結果及びモニタリングデータを用いて、計算結果の検証を実施し、航空機起源の排ガスが周辺の大気環境に与える影響・寄与率等を求める。

### 5.1.3 施策の検討

平成 22 年度に調査した国際民間航空機関(ICAO)における排出ガス規制の動向を踏まえ、本年度は、新たな規制の枠組みが検討されている PM2.5 に関する ICAO の動向を収集した。今後も継続

してこのような動向をフォローすることが重要であり、また、先進的な国や地域における施策や技術研究事例を収集して、我が国における航空機排出ガスに対する施策を検討することが有益であろう。

## 5.2 船舶

### 5.2.1 港湾周辺の大気環境の把握

本年度の調査では、平成 21 年度の全国の常時監視局における環境基準達成率が、一般局で 0.1%、自排局で 0%と極めて低く、近年濃度上昇が懸念されている光化学オキシダント(Ox)を対象に、港湾周辺の常時監視局測定値を用いて調査を実施した。その結果、全国平均値と港湾周辺とで顕著な差は見られなかった。これは、オキシダントが NO<sub>x</sub>や VOC を主体とする一次物質が、光化学反応を起こして生成される二次生成物質であるため、排出源の直近で必ずしも高濃度にならないことによるものと考えられる。

### 5.2.2 船舶排ガスを対象とした実測調査計画

昨年度の調査にて、港湾周辺の常時監視局測定値の集計を行った結果、港湾からの距離が近い測定局程 SO<sub>2</sub>濃度が高い傾向が見られた。一方、港湾の周辺には、工場や発電所等の船舶以外の排出源もあるため、より定量的に船舶の排ガス影響を把握するためには、船舶排ガスとそれ以外の排出源とを切り分ける必要がある。これらを行うためには、船舶以外の顕著な排出源の無い地点にて実測調査を行うことが望ましい。

船舶の排ガスを把握する際は、「停泊中」と「航行中」の二通りに分けて考える必要がある。このうち、前者に関しては、停泊中の船舶の近隣に港湾施設や工場等の排出源がある場合が多く、これらの切り分けを行うことが困難であると考えられる。そこで、本調査では、航行中の船舶排ガス影響を測定することを目的に、船舶航行隻数の多い3大港湾(東京湾、伊勢湾、大阪湾)を対象に、常時監視局測定値及び海洋政策研究財団にて作成された船舶航行時における排出量データを用いて設置の可能性を検討した。その結果、東京湾では、周辺の常時監視局における SO<sub>2</sub>濃度が高く、近隣の航路(浦賀水道)における航行中の船舶排出量が多いことから、神奈川県(観音崎灯台付近及び三浦半島南部)が適切と考えられる。伊勢湾では、湾内に入港するほぼ全ての大型商船が渥美半島と神島の間(伊良湖水道)を通過するため航行中の船舶排ガスの影響を強く受ける可能性があり、かつ、船舶以外の顕著な排出源が無いことから、神島にて実測することが望ましいと考えられる。

測定物質に関して、船舶は硫黄成分を多く含む重油を燃料としているため、SO<sub>2</sub>排出量が他の排出源に比べて大きく、指標として適切と考えられている。また、大気中に排出された SO<sub>x</sub>ガスは、比較的速やかに粒子化するため、PM に関しても実測することが望ましい。海洋政策研究財団(2007)では、船舶排気の PM の成分調査を実施し、その結果、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が最も多く 40%を占め、次いで OC が約 24%、EC が約 16%とされていることから、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が船舶排ガスの指標として適している可能性があるため、実測対象とすることが望ましい。

今後、具体的に実測調査を進める際には、航行中の船舶排出量データを用いてブルーム・パフモデル等による拡散シミュレーションを実施し、影響を受ける可能性が高い地点及び、実施時期(季

節)を選定する必要がある。他方、航行中の船舶からの排ガス量は、航行速度に比例し、速度が速い程排出量も大きくなる。また、大型商船の場合、実煙突高が40m以上になることもあり、排出源から離れた地点により影響を与える可能性がある。このように、船舶特有の排出実態を事前に抑えることが重要であり、実測地点及び調査項目を選定する際には、近隣海域の船舶航行実態を調査し、拡散シミュレーションの結果と併せて総合的に判断する必要がある。

### 5.2.3 施策の検討

平成22年度から2年に亘り、国際海事機関(IMO)や欧米における排出ガス規制の動向を調査した。その結果、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>及びSPMに対する規制は強化される傾向であることがわかった。健康・生態系への影響評価手法については、主に大気汚染物質ごとの健康影響に関する文献レビューを収集できた。しかしながら、船舶排出ガスに限定した影響評価はほとんど収集できなかった。

現在、国土交通省のECA技術検討委員会や研究機関において、我が国にECAを設定することの是非について検討されている。これらの調査研究において、船舶に着目した健康・生態系への影響についての知見の収集・蓄積が期待されている。

なお、国土交通省のECA技術検討委員会ではECAを導入した場合に期待される効果の1つとしてNO<sub>x</sub>濃度の改善を挙げている。他方NO<sub>x</sub>が原因物質の一つとされているO<sub>x</sub>濃度は、NO<sub>x</sub>濃度の低減に伴い、改善する場合もあるが、改善しない場合もあることが報告されている<sup>※9)</sup>。我が国のO<sub>x</sub>濃度は近年増加傾向であり、環境省では総合的なO<sub>x</sub>対策が検討されているなか、仮に我が国にECAが設定される場合は、O<sub>x</sub>濃度の変化予想を注視することが重要と考えられる。

---

※<sup>9)</sup> 井上 和也, 安田 龍介, 吉門 洋, 東野 晴行, 関東地方における夏季地表オゾン濃度のNO<sub>x</sub>, VOC排出量に対する感度の地理分布, 第1報 大小2種類の植物起源VOC排出量推定値を入力した場合の数値シミュレーションによる推定, 大気環境学会誌 Vol.45 (2010), No. 5 183-194