

平成 24 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 25 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(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、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、環境省では、平成 22 年度に港湾及び飛行場周辺の大気環境を把握するため、15 年分(1984~2008 年)の全国の常時監視局測定結果を集計・分析し、船舶及び航空機起源の排ガスがある程度周辺の大気環境に影響を与えている可能性が示唆された。

一方、常時監視局は、本来、特定の発生源の影響を受けにくい地点(一般局)及び自動車の排ガス影響を把握することを目的とした地点(自排局)に設置されていることから、より正確にこれらの排出源の影響を把握・評価するためには、適切な地点で測定を行うことが望ましい。これを受けて、平成 23 年度調査では、空港周辺に顕著な発生源が少なく、航空機の離着陸回数が多いことから成田国際空港を選定し、滑走路の直近及び空港外の 2 地点に測定小屋を設置して大気汚染物質の観測を行った。その結果、滑走路直近の測定局では、航空機の通過に対応して NO 及び PM2.5 濃度が顕著に上昇する傾向が見られ、これらの物質は航空機排ガスの影響を評価する際の指標として活用できることが示された。また、SMPS を設置して粒径別の粒子数を測定したところ、航空機から大量のナノ粒子が排出されていることが確認された。

このように、実測調査によって多くの知見を得られる可能性が示されたことから、今年度調査では、船舶の航行に伴う排ガスが周辺の大気環境に与える影響を把握するため、主要な航路帯からの距離が近く、周辺に顕著な発生源が無いことから神奈川県の観音崎公園を選定し、実測調査を行った。その結果、航路方向からの風が卓越し、かつ、実測地点付近の船舶航行量が多いときに、NO、NO₂、SO₂、Sulfate の濃度上昇が見られることが確認された。

一方、航空機に関しては、成田国際空港での実測調査から、滑走路直近における航空機排ガスの特性に関する知見を得ることができた。これを踏まえ、今年度調査では、評価範囲を拡大し、空港関連の排ガスが周囲の大気環境に与える影響を評価するため、米国 FAA によって開発された航空機排ガス専用の数値モデルである EDMS を用いてシミュレーションを行った。その結果、計算結果と実測結果はよく一致し、EDMS が国内の空港においても適用できることが示された。また、航空機排ガスの影響範囲や発生源別の寄与率等の知見を得ることができた。

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。また、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 25 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 rate of air quality standards for SPM and NO₂ has improved, the emissions from ships and aircrafts are less regulated than vehicles and there is insufficient amount of information available in this area. In addition, it is feared that the emissions from ships and aircrafts will increase in their proportion to air pollution in contrast to vehicle emissions, as the vehicle emissions will continue to be subjected to more stringent control measures.

Taking this situation into consideration, in fiscal year 2010, a series of analyses were conducted using the air quality monitoring data for 15 years (from 1984 to 2008) in order to understand the air quality status around ports and airports. Consequently, the results suggested that ships and aircrafts contribute to the surrounding air quality to a certain degree.

Meanwhile, the air quality monitoring posts are generally not meant to monitor ships or aircrafts, but rather to monitor the air quality in areas where there is not any significant emission source or to monitor the roadside air quality. Hence, it was considered desirable to conduct field measurements specifically targeting ships and aircrafts, in order to precisely assess the impacts of emissions from ships and aircrafts. In fiscal year 2011, a field measurement was conducted in and around Narita International Airport, which was selected due to the large volume of air traffic, as well as the fact that there are few major emission sources in the vicinity. Two measuring posts were set up; next to one of the runways and outside the airport, and the results showed substantial increases in concentrations of NO and PM_{2.5}, suggesting that these substances may be used as indicators for the impact of aircraft emissions. Sampling with specialized instrument also revealed that aircrafts emitted large amounts of nano-sized particles.

In fiscal year 2012 (this year), another field measurement was conducted targeting navigating ships, in Kannonzaki, which is located near one of the heaviest Japanese waterway but also relatively far from major emission sources. It was observed that, the concentrations of NO, NO₂, SO₂ and sulfates heightened when the wind came from the direction of the waterway at the same time as there was a large traffic in the waterway.

Regarding airport, a modeled assessment was conducted by using an airport model called EDMS (developed by FAA), and the modelled results were compared with those of field measurement. It was observed that these two results were comparable, suggesting that EDMS could be an effective tool to assess other airports in Japan. The modelled results also indicated the geographical surfaces where the aircraft emissions could theoretically reach, as well as the proportions of pollutants' concentrations in given spots resulting from the emissions from aircrafts, GSE, and other airport-related facilities.

平成 24 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
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	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 環境適合エンジン技術チーム	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

平成 24 年度 船舶・航空機排出大気汚染物質削減に関する検討会 オブザーバー名簿

(五十音順 敬称略)

氏名	所属	役職
石黒 純一	日本エヌ・ユー・エス株式会社	技術主幹
柏葉 信一	成田国際空港株式会社 地域共生部 環境業務グループ	マネージャー
櫻井 達也	日本エヌ・ユー・エス株式会社	安全・環境解析ユニット
佐々木 淳一	グリーンブルー株式会社	調査営業サブユニットマ ネージャ
長宗 寧	グリーンブルー株式会社	取締役、 環境調査事業ユニット ユニットマネージャ
松本 友宏	国土交通省海事局 安全基準課	専門官

Summary.....	3
第1章 調査の概要	1
1.1 調査の背景	1
1.2 今年度調査の目的	1
1.3 平成24年度の調査項目	2
第2章 航空機排出ガスに関する調査	3
2.1 過年度調査の概要	3
2.1.1 平成22年度調査	3
2.1.1 平成23年度調査	3
2.2 今年度調査の概要	6
2.3 航空機排出ガスによる大気環境影響に関する先行事例調査	7
2.3.1 オーストラリアにおける空港評価事例	7
2.3.2 リスト・フェレンツ国際空港（ハンガリー共和国）におけるシミュレーション事例	10
2.4 飛行場周辺における航空機排出ガスの影響把握のための評価手法の検討	12
2.4.1 シミュレーションモデルの選定	13
2.4.1 EDMSの概要	13
2.4.1 計算条件	15
2.4.2 各発生源の設定	16
2.4.3 計算結果	28
2.5 シミュレーション結果を踏まえた空港関連排ガスの評価手法の検討	50
第3章 船舶排出ガスに関する調査	51
3.1 今年度調査の概要	51
3.2 船舶排出ガスによる大気環境影響に関する先行事例調査	52
3.2.1 船舶排出ガスの成分	52
3.2.2 東アジア域におけるシミュレーション事例	54
3.2.3 関東地方におけるシミュレーション事例	54
3.2.4 実測調査へのフィードバック	56
3.3 船舶航行に伴う排出ガスに関する実態調査	57
3.3.1 実測地点選定のためのデータ分析	57
3.3.2 観音崎公園における実測調査	62
第4章 航空機及び船舶排出ガスに係る規制・対策等の調査	103
4.1 航空機排出ガスに係る規制及び対策等の調査	103
4.1.1 NO _x 基準	103
4.1.2 不揮発性PM基準策定に係る検討・調査状況	106
4.1.3 航空機排出ガスに係る規制及び対策等の調査のまとめ	111
4.2 船舶排出ガスに係る規制及び対策等の国際動向調査	112
4.2.1 諸外国における船舶排出大気汚染物質を削減するための先進事例	112
4.2.2 船舶排出ガスに係る規制及び対策の国際動向調査のまとめ	120
第5章 今年度調査のまとめ	122
5.1 航空機	122

5.2 船舶.....	123
5.3 国際動向調査.....	124

第1章 調査の概要

1.1 調査の背景

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(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。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、環境省では、平成 22 年度に港湾及び飛行場周辺の大気環境を把握するため、15 年分(1984～2008 年)の全国の常時監視局測定結果を集計・分析し、船舶及び航空機起源の排ガスがある程度周辺の大気環境に影響を与えている可能性が示唆された。

一方、常時監視局は、本来、特定の発生源の影響を受けにくい地点(一般局)及び自動車の排ガス影響を把握することを目的とした地点(自排局)に設置されていることから、より正確にこれらの影響を把握・評価するためには、適切な地点で測定を行うことが望ましい。これを受けて、平成 23 年度調査では、空港周辺に顕著な発生源が少なく、航空機の離着陸回数が多いことから成田国際空港を選定し、滑走路の直近及び空港外の 2 地点に測定小屋を設置して大気汚染物質の観測を行った。同様に、船舶についても適切な地点での実測調査を行うことが望ましく、特に船舶航行に伴う排ガスについては知見が無いことから、昨年度調査にて適切な実測地点、実施時期等の検討を行った。

1.2 今年度調査の目的

航空機は、昨年度の実測調査より「滑走路直近の航空機排ガス特性」に関する知見を得られたため、今年度調査では評価範囲を拡大し、シミュレーションによって空港関連の排ガスが空港周辺の大気環境に与える影響を評価することを目的とする。

船舶は、船舶航行に伴う排ガスが周辺の大気環境に与える影響を実測調査によって把握することを目的とする。

1.3 平成 24 年度の調査項目

今年度調査の項目と主な調査・検討内容を表 1 に示す。

表 1 平成 24 年度調査項目と調査・検討内容

調査項目	調査・検討内容
① 航空機排ガスによる大気環境影響に関する先行事例調査	航空機や空港内作業車から排出される排ガスの影響評価に関する先行調査事例の収集・分析を行った。これらの事例は、本調査で使用している EDMS を用いた評価事例を中心に収集を行った。
② 飛行場周辺における航空機排出ガスの影響把握のための評価手法の検討	成田国際空港を対象に、航空機等の空港関連排ガス専用のシミュレーションモデルである EDMS を用いて影響評価を行った。昨年度の実測期間中を対象とした短時間スケール(1 時間値)での再現性確認、2009 年を対象とした、日平均・月平均での再現性確認を実施した。
③ 船舶排ガスによる大気環境影響に関する先行事例調査	実測調査に資することを目的として、船舶排ガスの特性を評価した事例及びシミュレーションによって周辺の大気環境に与える影響を評価した事例を対象にレビューを行った。
④ 港湾周辺の船舶運航に伴う排ガスの影響把握のための実測調査	航行中の船舶排ガスの影響を把握するため、主要な航路帯からの距離が近く、船舶航行量の多い地点として神奈川県のお観音崎公園にて実測調査を行った。
⑤ 航空機・船舶排出ガス規制に関する国際動向の調査	主に ICAO 及び IMO における大気汚染物質の排出低減に関する施策の検討状況を調査した。また船舶に関する施策については、EU 及びカリフォルニア州における追加的な施策の事例を調査した。

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。検討委員会の開催状況は表 2 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 2 検討委員会の開催状況

開催回	開催日	主な検討内容
第 1 回	平成 24 年 8 月 8 日	(全体) 過年度調査の概要と今年度の調査内容について (航空機) 使用するモデル、計算条件等について (船舶) 実測調査の項目、期間、地点等について
第 2 回	平成 24 年 12 月 7 日	(航空機) 昨年度実測期間を対象とした試算結果について (船舶) 実測データの分析結果について (国際動向調査) 船舶及び航空機排ガスの規制に関する国際動向について
第 3 回	平成 25 年 2 月 21 日	(航空機) 2009 年を対象とした年間値の計算結果について (船舶) ケーススタディ結果及び実測結果のまとめについて

第2章 航空機排出ガスに関する調査

2.1 過年度調査の概要

2.1.1 平成 22 年度調査

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業務(以下、「平成 22 年度調査」という。)では、飛行場周辺の大気環境を把握するため、発着陸回数が多い飛行場(成田国際空港、東京国際空港、中部国際空港、大阪国際空港)周辺の常時監視局等のモニタリングデータを用いて解析を行った。その結果、NO₂ 濃度は、飛行場に近いモニタリング地点ほど濃度が高くなる傾向が見られた。ただし、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としているため、必ずしも航空機排出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たとは限らない。加えて、環境基準の達成状況が低い¹微小粒子状物質(PM2.5)に関しては、測定地点数が少ないため既存のデータのみではその影響を把握することができなかった。したがって、航空機排出ガスの影響を定量的に把握するためには、実測調査などによりデータ地点を補完し、より詳細な解析を行うことが必要となった。

2.1.1 平成 23 年度調査

平成 22 年度調査を踏まえ、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業務(以下、「平成 23 年度調査」という。)では、成田国際空港を対象にモニタリングデータ(常時監視局、空港会社による大気汚染物質自主測定データ)の詳細解析及び実測調査を行い、航空機排出ガスが飛行場周辺の大気環境に与える影響を調査した。主な結果を以下に示す。

① モニタリングデータの解析

平成 23 年度調査では、まず、成田国際空港周辺の大気環境を把握するため、空港周辺のモニタリングデータ(常時監視局、空港自主測定局)を用いて日変化傾向を確認した。窒素酸化物濃度は、全体的に滑走路直近の自主測定局の方が高く、特に NO は自主測定局のみ夕方からのピークが見られた(図 1)。

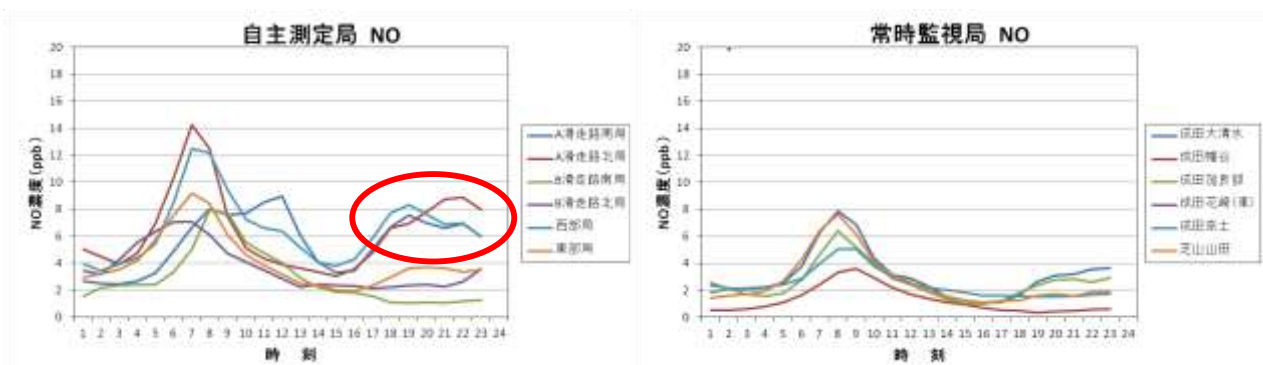


図 1 自主測定局及び空港周辺の常時監視局測定値(NO 濃度、2008 年、時間平均)

¹ 平成 22 年度の達成率は、一般局で 32%(11/34)、自排局で 8%(1/12) <http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=14869>

上記結果より、窒素酸化物に特徴的な傾向が見られたことから、滑走路近傍の自主測定局測定値(滑走路を挟む形で南北に位置。詳しくは参考資料2参照)を用いて航空機起源の窒素酸化物の挙動を調査した。一般に窒素酸化物は、排出直後のNO比率が高いことから、風向・風速別にNO/NO_x比を確認したところ、滑走路方向(西北西～北北西)から風が吹く際に顕著に高くなる傾向がみられ、特に風速が大きいほど顕著であった。したがって、航空機排出ガスの指標としての有効性が示唆された(図2右下左)。また、航空機排出ガスの影響を定量的に把握するため、風向・風速別に南北の濃度の差をとった(局所濃度とよぶ。)(図2右下右)。その結果、北西～北北西の風が卓越する際に濃度が高く、航空機の排出ガスは大気環境に30～50ppb程度影響を与える可能性が示唆された。

これらの結果より、航空機の排出ガスは風速に依存することが明らかとなったため、風速別に局所濃度を集計した。その結果、航空機の排出ガスは、自動車等の排出源とは異なり、風速に比例して濃度が高くなる傾向がみられた(図2右上)。

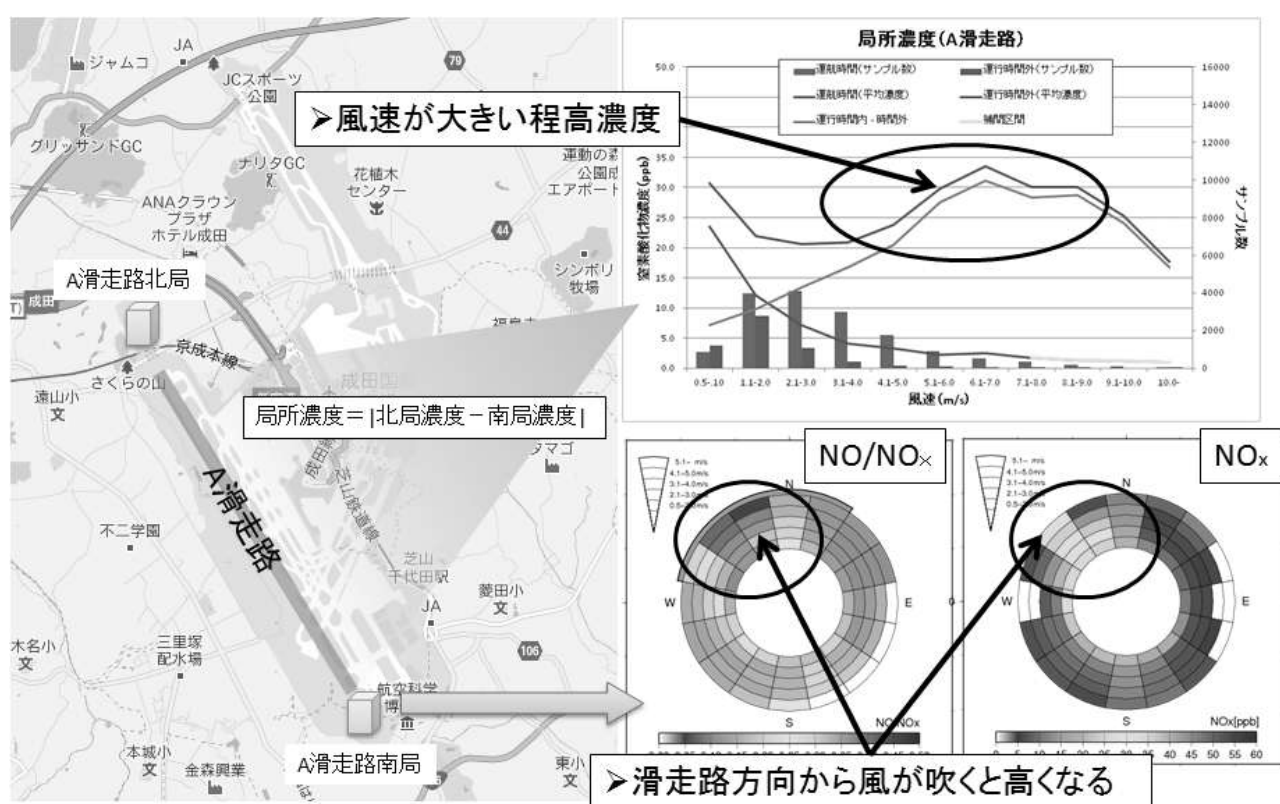


図2 成田国際空港におけるモニタリングデータの解析結果の概要

② 成田国際空港における実測調査

平成23年度調査では、成田国際空港のA滑走路中央付近(空港内)と空港南側(空港外)の共同利用施設に実測地点を設置し、NO_x、PM2.5、ナノ粒子数などの実測調査を実施した。滑走路から実測地点方向への風が卓越する際に、NO、PM2.5の顕著な濃度上昇がみられた。同様に、ナノ粒子数も顕著な上昇がみられ、航空機排出ガス中にナノ粒子が多く含まれる可能性が示唆された(図3、図4)。

上記より成田国際空港のA滑走路中央付近の実測結果から、「滑走路直近」における航空機排出ガスの特性が明らかとなった。

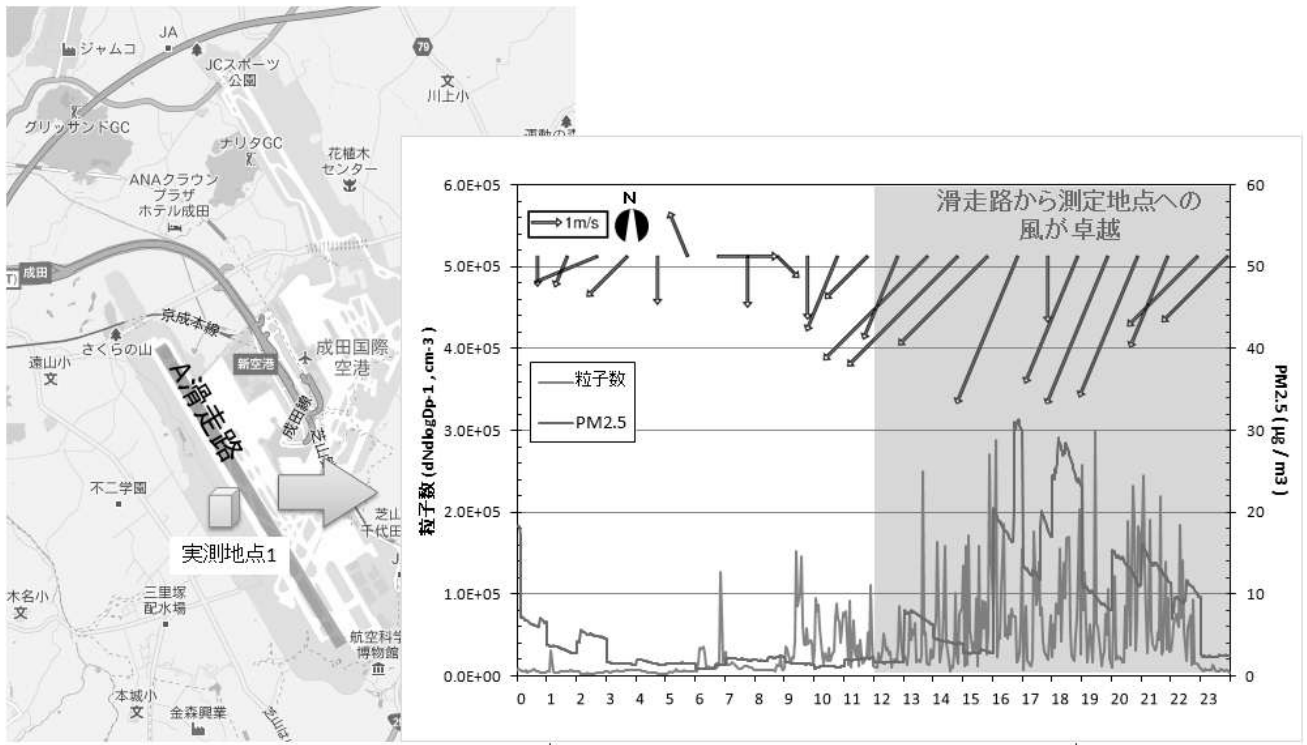


図3 成田国際空港における実測調査の例

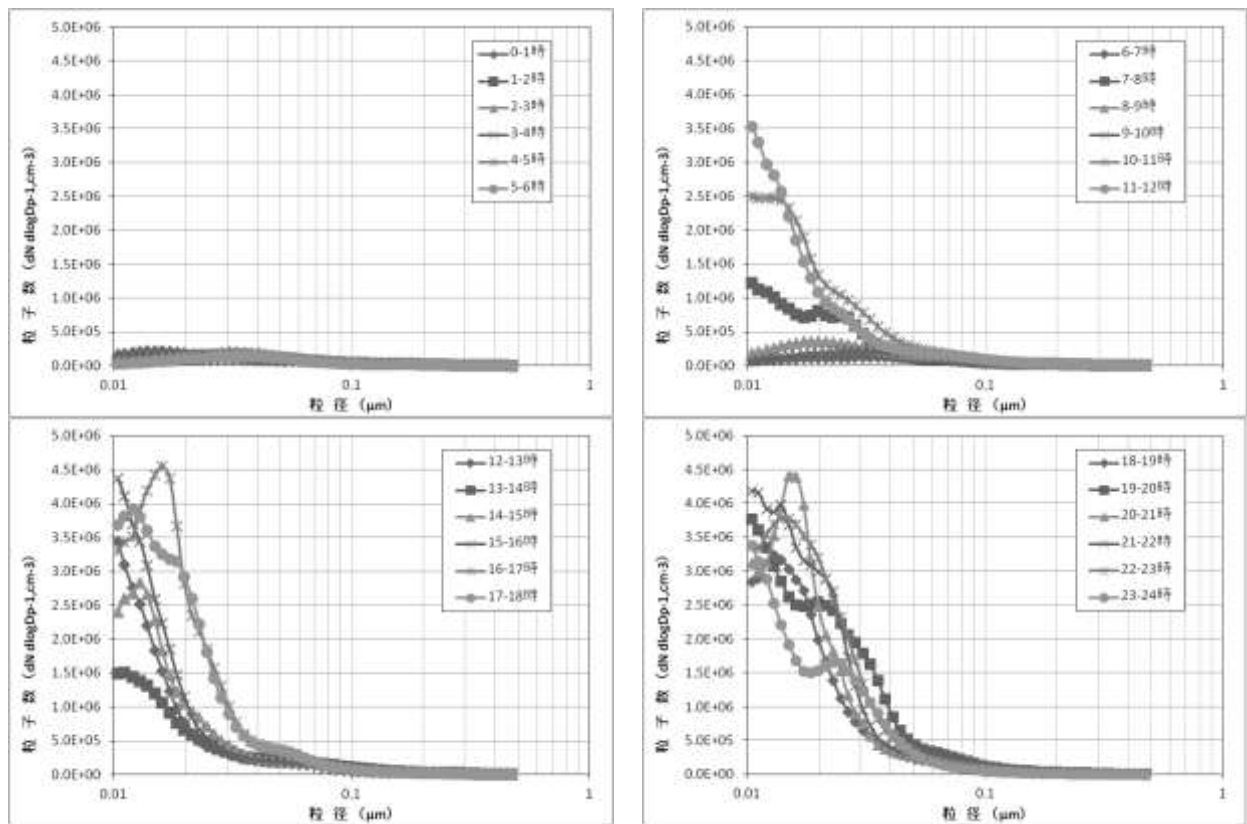


図4 実測地点1におけるナノ粒子数の推移(2011年12月16日)

2.2 今年度調査の概要

平成 23 年度調査における実測調査によって、滑走路直近における航空機排ガスの特性に関する知見を得たことを踏まえ、今年度調査では評価対象範囲を拡大し、シミュレーションによって航空機等の空港関連排ガスが周辺の大気環境に与える影響を評価した。主な調査項目とその概要を表 3 に示す。

表 3 平成 24 年度調査の概要

調査項目	調査内容
① 航空機排ガスによる大気環境影響に関する先行事例調査 ⇒2.3	<ul style="list-style-type: none"> ・ 本調査にて使用した EDMS を用いた評価事例を中心に文献を収集し、レビューを行った。
② 活動量データ、排出係数等の収集 ⇒2.4.2	<ul style="list-style-type: none"> ・ シミュレーションには、空港関連排ガス専用のモデルである EDMS を使用した。 ・ シミュレーションを行うため、以下のデータの収集を行った <ul style="list-style-type: none"> - 発生源データ 航空機の運航情報、周辺道路の交通量、空港内作業車の種類/活動量、駐車場の利用状況、エンジン試運転結果、燃焼施設の活動量/排ガス測定結果 - 気象データ - 大気汚染物質測定結果
③ 成田国際空港を対象とした EDMS によるシミュレーション ⇒2.4.3	<ul style="list-style-type: none"> ・ ②にて収集したデータを基に以下に示す2ケースのシミュレーションを行った。 <ul style="list-style-type: none"> - ケース①: 昨年度実測期間の再現性検証 - ケース②: 年間値の再現性検証(2009年) ・ 空港管理会社による大気汚染物質測定結果を用いて、再現性の検証を行った。
④ 他飛行場への適用性検討 ⇒2.5	<ul style="list-style-type: none"> ・ ③の結果を踏まえ、他飛行場にて同様のシミュレーションを行う際に必要な設定条件等を整理した。

2.3 航空機排出ガスによる大気環境影響に関する先行事例調査

シミュレーションを実施するに当たり、空港関連排ガスの環境影響評価に関する先行事例の調査を行った。その際、本調査の計算結果と比較するため EDMS を用いた事例を中心にレビューを行った。また、国内の文献から、本調査と同様に空港内の発生源を詳細に設定した事例、EDMS を用いた評価事例が得られなかったことから国外の事例を中心に収集を行った。

2.3.1 オーストラリアにおける空港評価事例

オーストラリアでは政府主導で汚染物質インベントリ(NPi:National Pollutant Inventory)²を作成しており、その一つとして空港を対象とした環境影響評価マニュアルが用意されている³(Emission Estimation Technique Manual for Airports)。このマニュアルでは、大気の他に地上水、土壌、廃棄物についても評価を行うこととされており、総合的な環境影響評価を行うことを目的として作成された。

評価を行う空港は、図 5 に示すフローに従ってレポートを作成することされている。

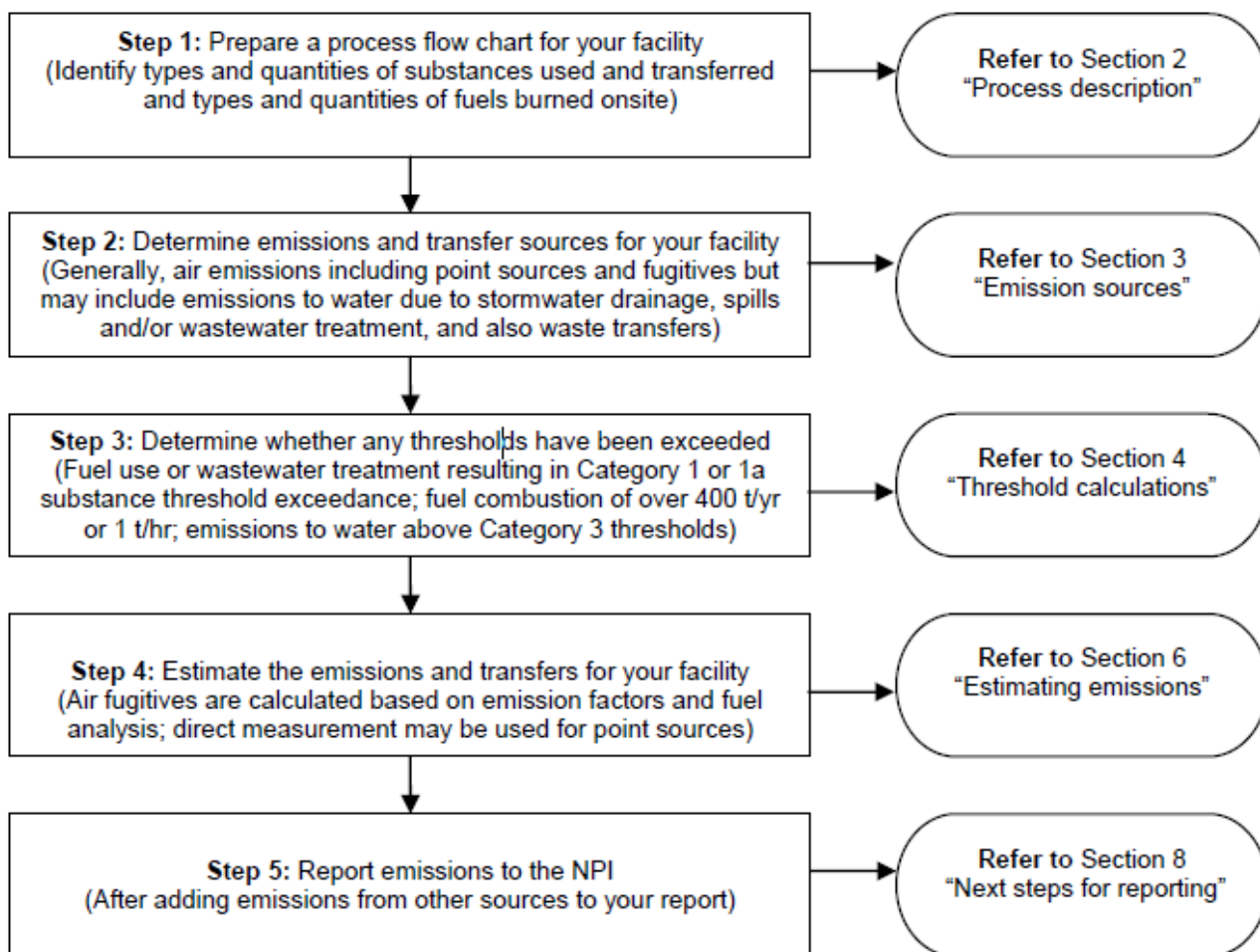


図 5 評価フロー

² <http://www.npi.gov.au/publications/index.html>

³ http://www2.unitar.org/cwm/publications/cbl/prtr/pdf/cat5/Australia_airports.pdf

評価は、表 4 に示した空港内の主要な発生源を対象に行うこととされている。メインエンジン、APU、GSE の排出係数は、EDMS に設定されている値が参考値として示されている。また、GSE については、典型的な車種について、EDMS のシミュレーションに必要なパラメータが示されている。例を図 6 に示す。

表 4 空港内の主要な発生源(1/2)

Source type	Description	Relevant EET manual (reporting responsibility)	NPI reporting responsibility
<i>Emissions directly from aircraft</i>			
Aircraft main engine	Main engines of aircraft ranging from start-up to shut-down	<i>Aircraft</i>	States and territories
Auxiliary Power Units (APU)	APU located on-board aircraft providing electricity and pre-conditioned air during ground times and bleed air for main engine start	<i>Airports</i>	Operating entity responsible for the management of stationary aircraft
<i>Aircraft handling emission sources</i>			
Ground support equipment (GSE)	GSE necessary to handle the aircraft during the turnaround at the stand, including ground power units, air climate units, aircraft tugs, conveyor belts, passenger stairs, fork lifts, tractors, cargo loaders, etc.	<i>Combustion engines; Airports</i>	Operating entity responsible for GSE activities
Airside traffic	Service vehicle and machinery traffic, including sweepers, trucks (catering, fuel, sewage), cars, vans, buses etc. that circulate on service roads within the airport perimeter (typically restricted area)	<i>Combustion engines</i>	Entity responsible for airside traffic operations
Aircraft refuelling	Evaporation through aircraft fuel tanks (vents) and from fuel trucks or pipeline systems during fuelling operations	<i>Fuel and organic liquid storage; Airports</i>	Entity responsible for aircraft fuelling operations
<i>Stationary- or infrastructure-related source categories of emissions</i>			
Power/heat generating plant	Facilities that produce energy for the airport infrastructure, namely boiler houses, heating/cooling plants, co-generators	<i>Combustion in boilers; Combustion engines</i>	Entities with operational control of power/heating/cooling plants
Emergency power generator	Diesel or other generators for emergency operations (e.g. for buildings or for runway lights)	<i>Combustion engines; fuel and organic liquid storage</i>	Entities with operational control of emergency power generators
Aircraft maintenance	All activities and facilities for maintenance of aircraft, i.e. washing, cleaning, paint shop, engine test beds, etc.	<i>Surface coating; Airports; Fugitives</i>	Entity responsible for aircraft maintenance

表 4 空港内の主要な発生源(2/2)

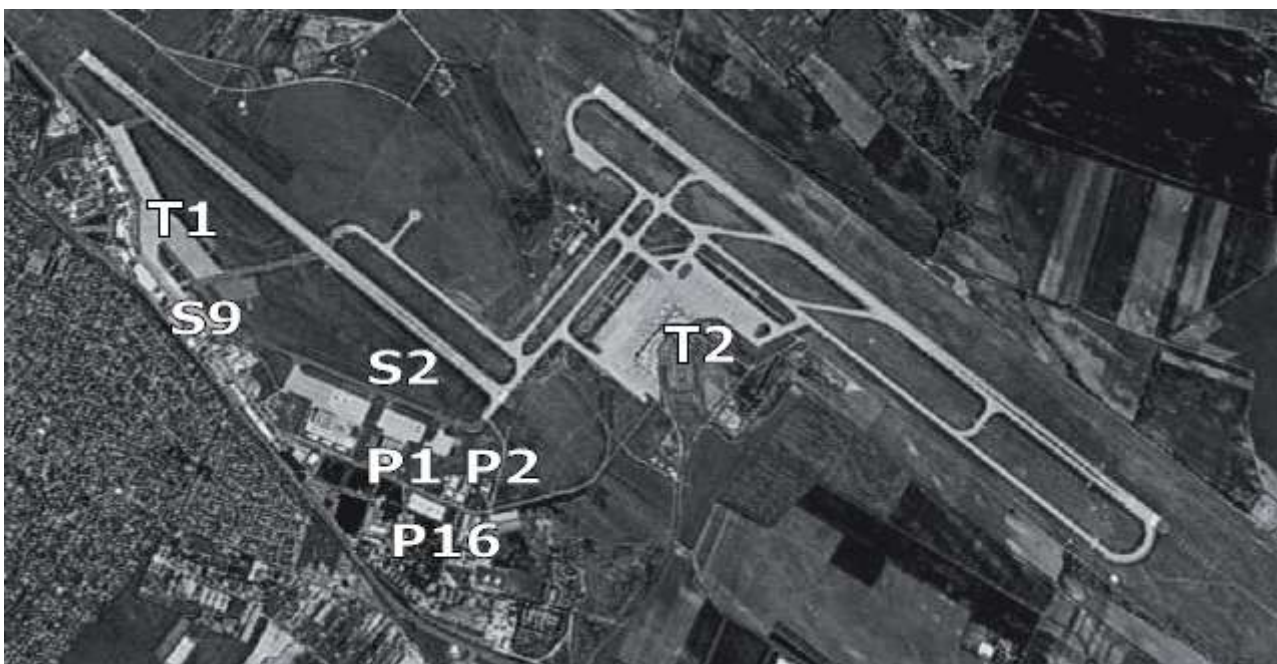
Source type	Description	Relevant EET manual (reporting responsibility)	NPI reporting responsibility
Airport maintenance	All activities for maintenance of airport facilities, including cleaning operations.	<i>Fugitives</i>	Entity responsible for airport maintenance
Fuel	Fuel storage, distribution and handling	<i>Fuel and organic liquid storage</i>	Entity responsible for fuel/organic liquid storage and/or handling
Construction and demolition activities	All construction and demolition operations in airport operation and development, including the resurfacing of roads and runways	<i>Fugitives; Combustion engines</i>	Entity responsible for construction and demolition activities
Fire training	Activities for fire training with different fuel (e.g. kerosene, butane, propane, wood)	<i>Airports</i>	Entity responsible for fire training services
Waste water treatment	All activities and facilities for the collection, storage and treatment of waste water onsite	<i>Wastewater treatment</i>	Entity responsible for waste water treatment operations
<i>Landside traffic emission sources</i>			
Vehicle traffic	Cars, vans, trucks, buses, motorbikes etc. associated with the airport on access roads, drop-off areas and on- or offsite parking lots. Emissions include tailpipe and evaporative releases)	<i>Combustion engines</i>	States and territories

	Ground support equipment	Function	Engine power (kW)	Fuel	Load factor	Service time per turn	Comments
	Ground power unit (GPU)	Provides electrical power to aircraft	50 – 150	Diesel, petrol, gas	0.15 – 0.75	Depends on schedule (40 - 50 minutes)	Electric system may be integrated into gate/bridge
	Air conditioning / heater unit	Provides preconditioned air and/or heat to aircraft	150 – 220	Diesel or petrol	0.5 – 0.75	Depends on schedule & weather (20 - 30 min)	Electric PCA may be integrated into gate/bridge
	Air starter unit	Provides high pressure airflow for starting main engines	150 – 630	Diesel	0.9	3 - 7 minutes	Use depends on whether on-board APU is used
	Narrow-body push out tractor	Push back and maintenance towing	95	Diesel	0.25 - 0.8	5 - 10 minutes	Electric powered units available
	Wide-body push out tractor	Push back and maintenance towing	400	Diesel	0.25 - 0.8	5 - 10 minutes	

図 6 NPIにおける GSE 車種別パラメータリスト(一部抜粋)

2.3.2 リスト・フェレンツ国際空港(ハンガリー共和国)におけるシミュレーション事例

次に、ハンガリー共和国の首都、ブタペストにあるリスト・フェレンツ国際空港を対象に EDMS を用いてシミュレーションを実施した例⁴を示す。対象物質は、NO_x、CO、SO₂、VOC、PM10。図 7 に示した空港写真を基に EDMS のレイアウトを設定した。計算結果を図 8 及び図 9 に示す。計算結果と実測結果はよく一致しており、EDMS を用いたシミュレーションは精度よく再現されることが示されている。



注:P1,P2,P16: 燃焼施設。T1,T2: 空港ターミナル。S2,S9: 大気汚染物質モニタリングサイト。

図 7 空港レイアウト(リスト・フェレンツ国際空港)

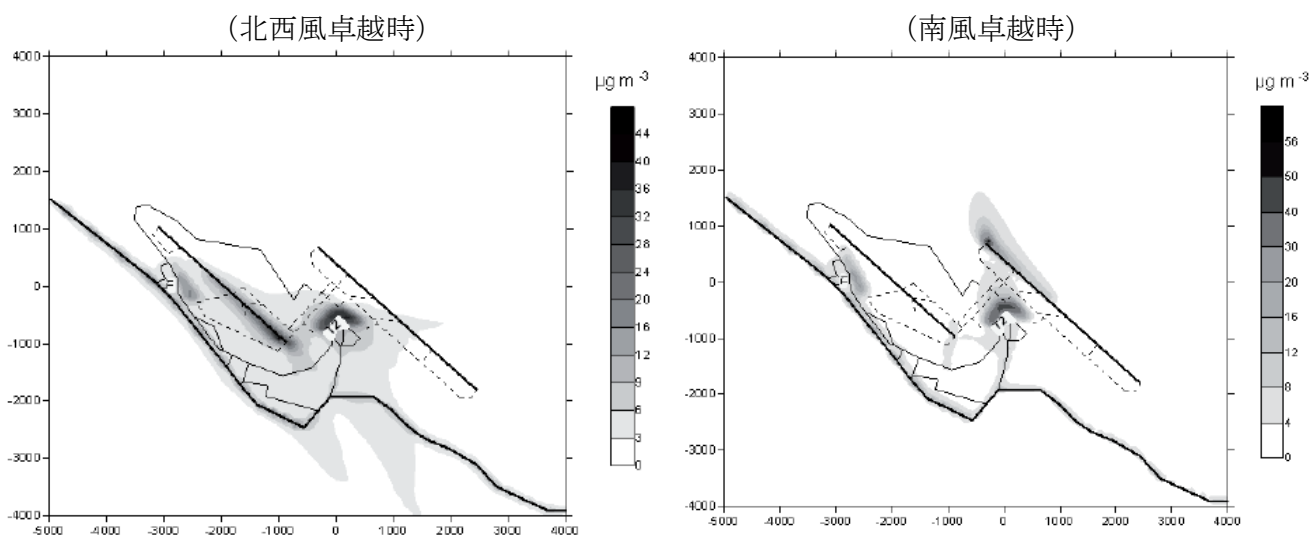


図 8 風向別 NO_x 日平均値

⁴ Roland Steib, Zita Ferenczi and Krisztina Labancz, AIR QUALITY FORECASTING SYSTEM AT FERIHEGY AIRPORT -HUNGARY, Hrvatski meteoroloski casopis, Vol.43 No.43/2 Prosinac 2008.

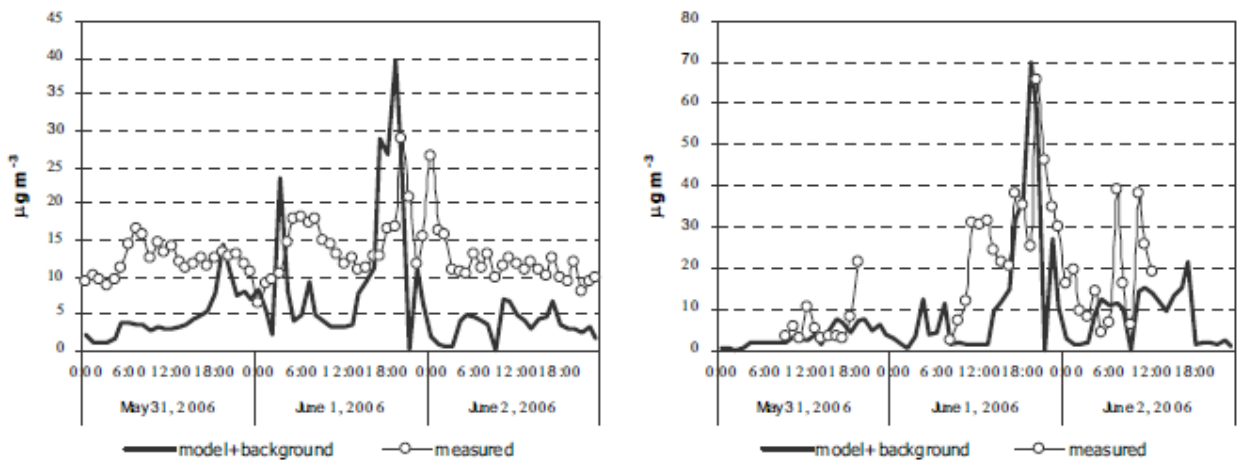


図 9 計算結果と実測結果の比較 (NO_x 、左:実測地点 S9、右:実測地点 S2)

2.4 飛行場周辺における航空機排出ガスの影響把握のための評価手法の検討

航空機及び飛行場関連施設からの排出ガスの影響評価手法のフローを図 10 に示す。評価手法の検討に当たっては、昨年度の実測結果等を活用することを想定して成田国際空港を対象とし、飛行場排出ガス専用のシミュレーションソフトである EDMS(詳細は後述)を用いて、飛行場周辺における物質別・排出源別の排出量及び濃度を計算する。次に計算結果と昨年度の実測調査結果を比較し、計算結果の妥当性を検証するとともに、必要に応じて各種パラメータの調整を行う。そのうえで、他飛行場への適用方法を検討することとする。

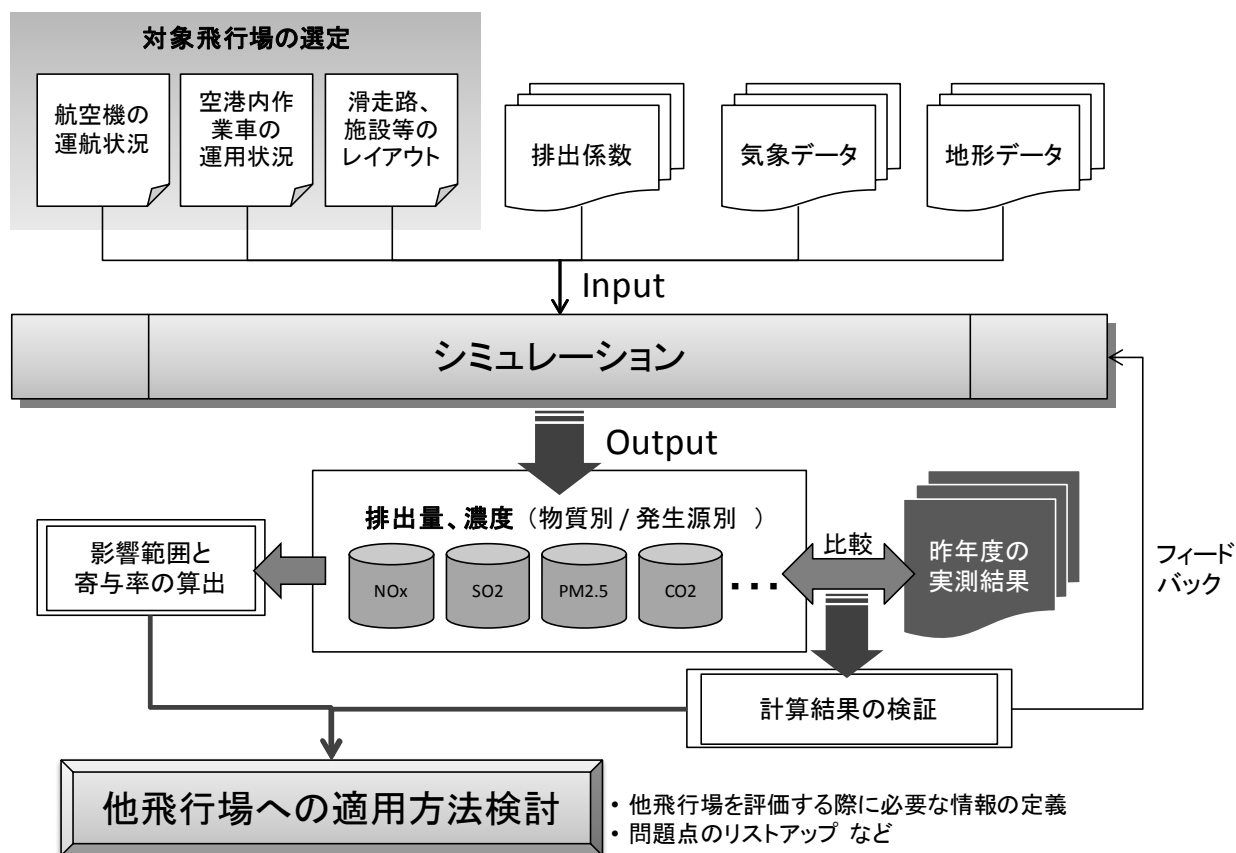


図 10 飛行場周辺における航空機排出ガスの影響評価フロー

2.4.1 シミュレーションモデルの選定

本調査では、以下の理由により航空機排出ガス専用のシミュレーションモデルである EDMS⁵ (Emissions and Dispersion Modeling System)を使用することとする。

- 平成 23 年度調査結果から、航空機排出ガスは自動車などの一般的な排出源とは異なる挙動を示すことが示唆されたため、航空機排出ガス専用のシミュレーションモデルを使用する必要がある。
- EPA(アメリカ合衆国環境保護庁:Environmental protection Agency)推奨モデルの一つで、排出量計算と拡散予測の双方を行うことができる。
- PM2.5 排出量、濃度を計算することができる。
- 詳細な空港レイアウトの設定が可能。
- 飛行場内作業車、飛行場内施設、自動車などの発生源を設定できる。

2.4.1 EDMS の概要

EDMS は、前述したとおり、EPA 推奨モデルの一つで、排出量計算と拡散予測の双方を行うことができる。FAA(連邦航空局:Federal Aviation Administration)及びUSAF(米国空軍:United States Air Force)によって 1970 年代前半から開発が進められ、1985 年に Ver1.0 がリリースされた。その後、改良が重ねられ 2010 年には Ver5.1.3 (2012 年 8 月時点での最新版)がリリースされた(図 11)。EDMS における計算フローは図 12 に示すとおり。

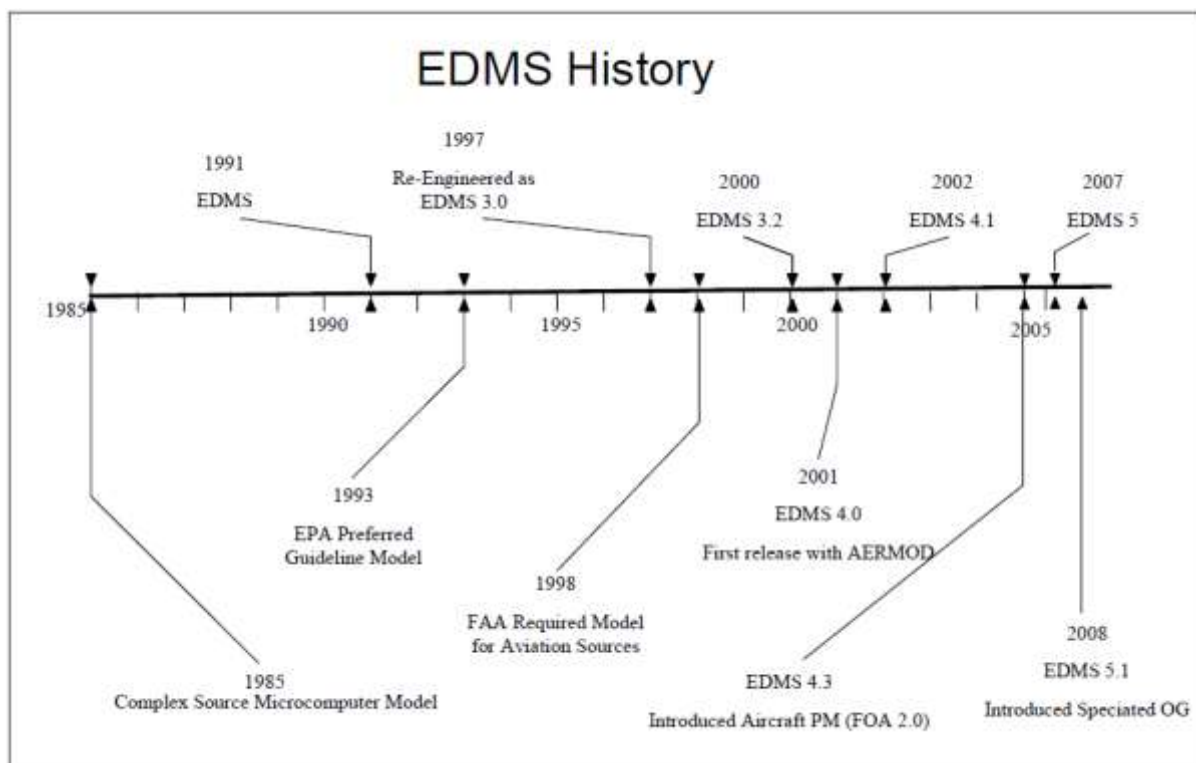


図 11 EDMS History

⁵ EDMS : http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/apl/research/models/edms_model/

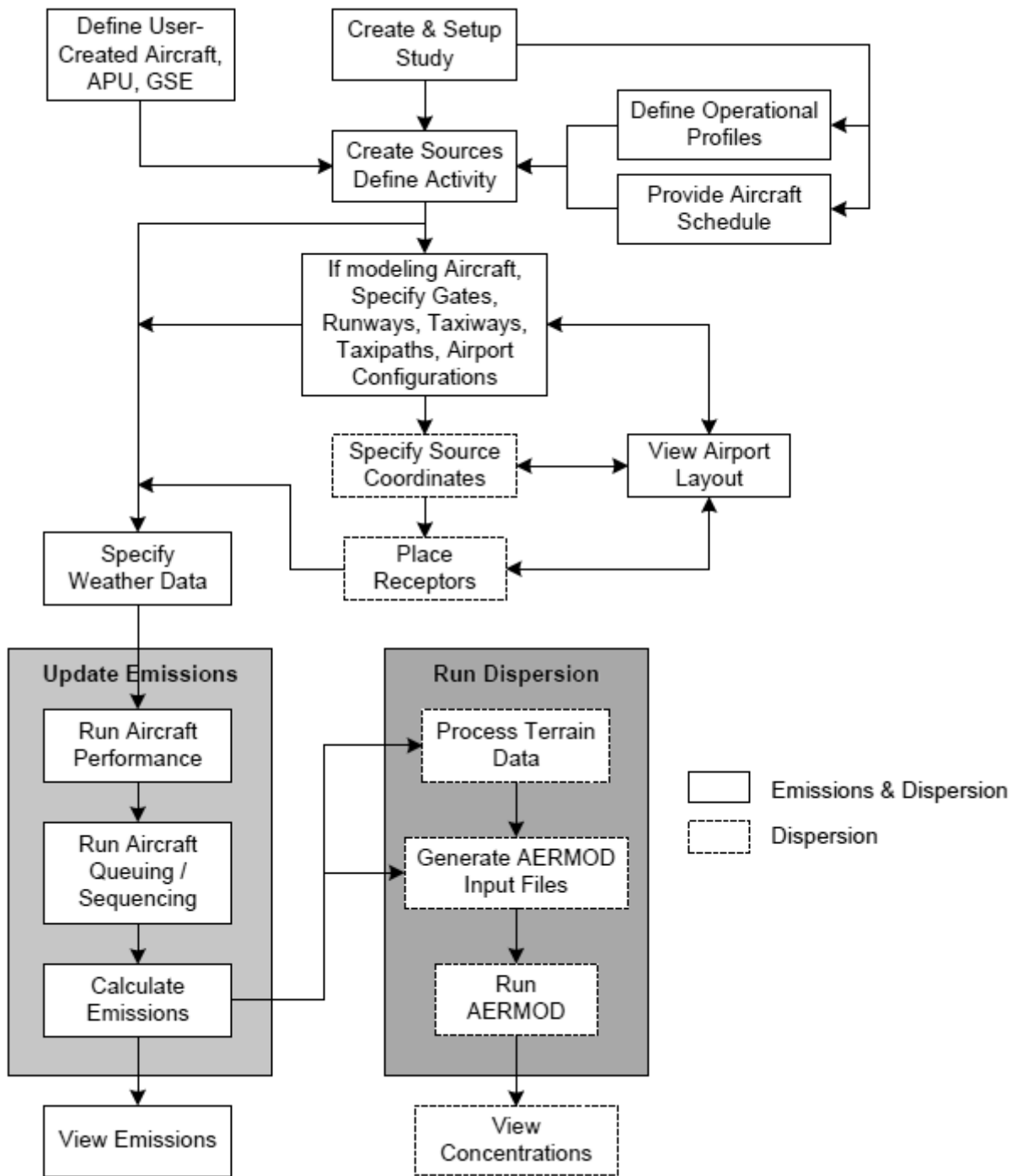


図 12 EDMS による計算フロー

2.4.1 計算条件

本調査における計算条件を表 5 に示す。計算ケースは 2 通り実施する。ケース①は、分刻みの詳細なフライトデータ及び滑走路直近の実測結果があることから、短時間スケールでの計算の精度を検証することを目的として実施する。ケース②では、年間(2009 年)のデータを用いて計算を実施し、季節ごとの精度を検証するとともに、空港関連排ガスの発生源別寄与率、影響範囲等を把握することを目的とする。結果の検証は、空港管理会社による 6 地点の自主測定局(以降、モニタリング地点という)の実測結果とモニタリング地点直上に設定した計算点の濃度とを比較して行った。

メッシュは、第二旅客ターミナルビル(空港第二ビル)を中心に東西方向 6km 及び南北方向 8km を 100m×100m メッシュ、それより遠方の 20 キロ四方を 500m×500m メッシュとした(図 13)。

なお、EDMS における計算ステップは 15 分間隔であるが、出力は 1 時間以上の平均値となる。本調査では主に日平均値、月平均値を使用した。

表 5 計算条件

項目	設定値
期間	ケース①: 昨年度実測期間の再現性検証 2011 年 12 月 15 日～2011 年 12 月 21 日(7 日間) ケース②: 年間値の再現性検証 2009 年(1 年間)
計算領域	空港中心から 10km 四方
メッシュ	東西 6km 南北 8km 以内: 100m×100m、20km 以内: 500m×500m
物質	NO _x 、SO _x (SO ₂ ^注)、CO、PM10(SPM ^注)
最小時間分解能	1 時間

注: SO_x は SO₂ の測定値を用いて検証を行った。PM10 は SPM の測定値を以下の換算式を用いて PM10 濃度に換算した。

$$PM10 = SPM \times 1.07^6$$

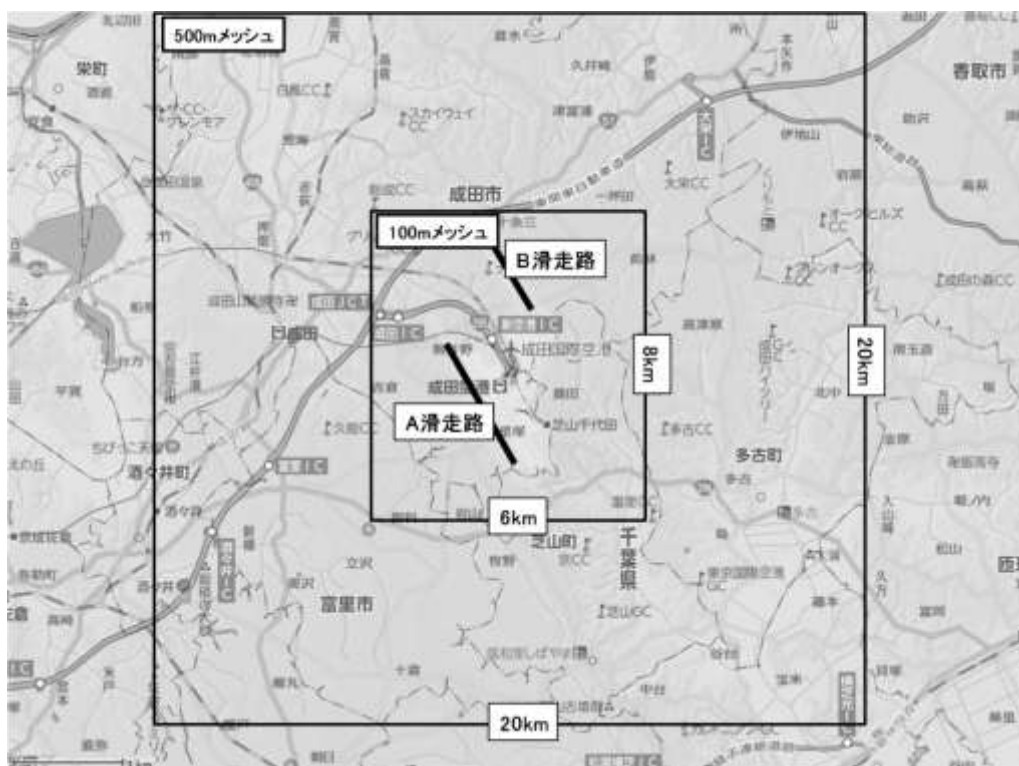


図 13 計算領域及びメッシュ

⁶ 岸本充生, 「浮遊粒子状物質による健康影響の定量評価および経済評価の現状」, 資源と環境, (2000).

2.4.2 各発生源の設定

EDMS において設定可能な発生源及び物質を表 6 に示す。本調査では、実測結果と比較可能な CO、NO_x、SO_x、PM10 を計算対象とした。また、各発生源の計算に必要な活動量のデータ等は、成田国際空港(株)殿に協力頂き入手した。以降、発生源別に本調査における設定方法の詳細を示す。なお、PM2.5 は計算に必要な排出係数の情報が得られなかったため対象外とした。

表 6 EDMS にて設定可能な発生源と対象物質

発 生 源	対 象 物 質									
	CO ₂	CO	THC	NMHC	VOC	TOG	NO _x	SO _x	PM10	PM2.5
① 航空機(メインエンジン)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
航空機(APU)		○	○	○	○	○	○	○	○	○
② 空港内作業車		○		○	○	○	○	○	○	○
③ 駐車場		○		○	○	○	○	○	○	○
④ 道路		○		○	○	○	○	○	○	○
⑤ 空港関連施設		○		○	○	○	○	○	○	○
⑥ エンジン試運転		○		○	○	○	○	○	○	○

注:計算対象物質を「○」示す。検証に使用した物質を太枠で囲んだ。

① 航空機(メインエンジン、APU)

【ケース①:昨年度の実測期間中の計算】

EDMS では、航空機の離陸/着陸時刻、機種、エンジン、APU、離着陸に使用した滑走路及びゲートを設定することができる。本調査では、成田国際空港殿のご協力により昨年度の実測期間中(2011年12月15日~12月21日)のフライトデータ(離着陸時刻、機種名、滑走路)を提供いただき設定した。各機種に搭載されている代表的なエンジン及びAPUは、ICAOデータベース、エアラインのホームページ等を参考に設定した(表7)。機種とエンジン及びAPUの対応は表8のとおり。排出係数は、ICAOデータベースの値(2012年公開データ)を設定した。

表 7 本調査にて設定した航空機に関する入力データ(一部抜粋)

年月日 ^{注1}	時刻 ^{注1}	便名 ^{注1}	機種 ^{注1}	滑走路 ^{注1}	着/離 ^{注1}	エンジン ^{注2}	APU ^{注2}
2011/12/15	06:01	CPA524	A333	B滑走路	着陸	CF6-80E1A4	GTCP 331-350
2011/12/15	06:03	CA01073	B744	A滑走路	着陸	CF6-80C2B1F	GTCP 85-129
2011/12/15	06:05	NCA17	B744	A滑走路	離陸	CF6-80C2B1F	GTCP 85-129
2011/12/15	06:05	QFA21	A332	B滑走路	着陸	CF6-80E1A1	GTCP 331-350
2011/12/15	06:07	THA640	B744	A滑走路	着陸	CF6-80C2B1F	GTCP 85-129
2011/12/15	06:19	ANA938	B763	A滑走路	着陸	CF6-80C2B6F	GTCP 331-200ER
2011/12/15	06:21	JAL724	B763	B滑走路	着陸	CF6-80C2B6F	GTCP 331-200ER
...							
2011/12/15~2011/12/21							合計 3,703 便

注1:データは成田国際空港(株)殿より提供頂いたデータ。

注2:ICAOデータベース等を参考に機種毎に対代表的なエンジン及びAPUを設定した。

表 8 本調査にて設定した機種に対する代表的なエンジン及び APU

機 種	代表的なエンジン	代表的な APU
Airbus A300B4-600	PW4158 Reduced smoke	APU GTCP331-200ER
Airbus A319-100	CFM56-5-A1	APU GTCP36-300
Airbus A320-100	CFM56-5-A1	APU GTCP36-300
Airbus A321-100	V2530-A5	APU GTCP36-300
Airbus A330-200	CF6-80E1A1	APU GTCP331-350
Airbus A330-300	CF6-80E1A4	APU GTCP331-350
Airbus A340-300	CFM56-5C2	APU GTCP331-350
Airbus A340-500	Trent 553-61	APU GTCP331-350
Airbus A340-600	Trent 553-61	APU GTCP331-350
Airbus A380-800	GP7270	不明 (APU GTCP331-350 で代用)
Boeing 737-400	CFM56-3-B1	APU GTCP85-1290
Boeing 737-500	CFM56-3-B1	APU 131-9
Boeing 737-800	CFM56-7B18	APUGTCP331-200ER
Boeing 767-300	CF6-80C2B6F	APU GTCP331-500
Boeing 777-200	PW4077	APU GTCP331-500
Boeing 777-200 LR	GE90-110B	APU GTCP331-500
Boeing 777-300 ER	GE90-115B DAC	APU GTCP85

【ケース②:年間値の計算】

2009年の機種別年間離着陸回数は、成田国際空港殿より提供頂いたデータを使用した(表9)。なお、今後他空港へ適用する際はPRTR届出外排出量⁷にて推計された値⁸が使用できると考えられる。PRTRのデータは、国内エアラインの着陸回数(定期航空協会とりまとめ)、空港管理状況調書(国土交通省)、JTB時刻表のデータを用いて推計しており、空港別・機種別の離着陸回数を得ることができる。

表 9 成田国際空港における機種別着陸回数(2009年、一部抜粋)

機種略称	主な機種名	A 滑走路(回)		B 滑走路(回)	
		着陸	離陸	着陸	離陸
B737	ボーイング 737-300, -400, -500	2,280	2,814	4,863	4,327
B747	ボーイング 747-100, -200, -300, SP	592	599	0	0
B744	ボーイング 747-400	18,381	18,532	271	118
B757	ボーイング 757	2,280	2,432	1,669	1,515
B763	ボーイング 767-300	8,667	12,002	11,114	7,779
B772	ボーイング 777-200	15,570	19,442	6,622	2,748
A300	エアバス A300	6,179	6,673	3,186	2,690
A310	エアバス A310-300	6,179	6,673	3,186	2,690
A320	エアバス A320(-200 以外)	6,179	6,673	3,186	2,690
A330	エアバス A330(-300 以外)	6,179	6,673	3,186	2,690
A340	エアバス A340(-300, -500 以外)	1,302	2,480	1,243	65
A380	エアバス A380	364	364	0	0
...					
合 計		58,769	68,520	34,759	25,003

⁷ PRTR (<http://www.env.go.jp/chemi/prtr/risk0.html>)

⁸ PRTR 届出外 航空機に係る排出量 (<http://www.env.go.jp/chemi/prtr/result/todokedegaiH22/syosai/16.pdf>)

② 空港内作業車

空港内作業車(GSE)は、成田国際空港殿の情報提供により活動量が得られた表 10 の 9 車両を設定した。EDMS では、車両毎に燃料の種類(ディーゼル/ガソリン/CNG(天然ガス)/LPG/電気)、馬力、負荷率、年間稼働時間を設定する。燃料は安全側に見てトランスポーター以外の車両はディーゼルとした。各車両の画像を図 14 に示す。

表 10 計算対象とした空港内作業車と主な用途

車 両 名 ^{注1}	主な用途	燃料	馬力 (hp)	負荷率 (%)	稼働時間 ^{注1} (時間/年)
ハイドラント給油車	航空機燃料の給油を行う車両	ディーゼル	235	70	1,527
電源車及び冷暖房車	航空機等への電気、空調の供給を行う車両	ディーゼル	200	75	2,034
航空機牽引車	航空機を牽引する車両	ディーゼル	200	75	1,045
トーイングトラクター	貨物地区や手荷物仕分け場より空港までコンテナを牽引する車両	ディーゼル	88	54	1,734
パッセンジャーステップ車	乗客を機内に乗降するための車両	ディーゼル	65	57	828
ハイリフトローダー	航空機のカーゴルーム内にコンテナの搭載を行う車両	ディーゼル	210	53	1,135
メインデッキローダー	航空機のメインデッキに搭載されているコンテナ等を積下しする車両	ディーゼル	130	50	845
ベルトローダー	航空機バルク貨物室へ手荷物、貨物、ペット類を移送する車両	ディーゼル	70	50	1,635
トランスポーター	空港内を移動する際に使用する車両	ガソリン	235	20	606

注 1: 車両の種類、稼働時間は成田国際空港(株)殿より提供頂いた平成 17 年度のアンケート調査結果による。










<p>ハイドラント給油車</p>  <p>http://www.mainami.co.jp/f_refuel.html</p>	<p>電源車及び冷暖房車</p>  <p>http://ja.wikipedia.org/wiki/%E9%9B%BB%E6%BA%90%E8%BB%8A</p>	<p>航空機牽引車</p>  <p>http://www.ana-aah.co.jp/service/vehicle.html</p>
<p>トーイングトラクター</p>  <p>http://www.ana-aah.co.jp/service/vehicle.html</p>	<p>パッセンジャーステップ車</p>  <p>http://www.ana-aah.co.jp/service/vehicle.html</p>	<p>ハイリフトローダー</p>  <p>http://www.ana-aah.co.jp/service/vehicle.html</p>
<p>メインデッキローダー</p>  <p>http://www.jgsgroup.co.jp/dictionary/gse/md-l.html</p>	<p>ベルトローダー</p>  <p>http://www.ana-aah.co.jp/service/vehicle.html</p>	<p>トランスポーター</p>  <p>http://www.ana-aah.co.jp/service/vehicle.html</p>

図 14 空港内作業車の画像

(参考) 空港内作業車の排出係数について

空港内作業車(GSE)の排出係数は、国産車のデータが得られなかったため国外のデータを使用しており、実際よりも過大である可能性が高い。国産 GSE の排出係数について、メーカーにヒアリングを実施したところ、自社で測定したデータは所有していないが、いすゞ等の一般的な自動車メーカーで生産されたトラック等を改造して使用しているとの情報を得た。国内の車種を使用している場合は、オフロード法にて定められた規制値以下である可能性がある(図 15)。

定格出力	一酸化炭素 (CO)		非メタン炭化水素 (NMHC)		窒素酸化物 (NOx)		粒子状物質 (PM)		ディーゼル黒煙	
	改正前	改正後	改正前	改正後	改正前	改正後	改正前	改正後	改正前	改正後
19kW 以上 37kW 未満 のもの	5.00 (6.50)	5.0 (6.5)	1.00 (1.33)	0.7 (0.9) ▲30%	6.00 (7.98)	4.0 (5.3) ▲33%	0.40 (0.53)	0.03 (0.04) ▲93%	40%	25%
37kW 以上 56kW 未満 のもの	5.00 (6.50)	5.0 (6.5)	0.70 (0.93)	0.7 (0.9)	4.00 (5.32)	4.0 (5.3)	0.30 (0.40)	0.025 (0.033) ▲92%	35%	25%
56kW 以上 75kW 未満 のもの	5.00 (6.50)	5.0 (6.5)	0.70 (0.93)	0.19 (0.25) ▲73%	4.00 (5.32)	3.3 (4.4) ▲18%	0.25 (0.33)	0.02 (0.03) ▲92%	30%	25%
75kW 以上 130kW 未満 のもの	5.00 (6.50)	5.0 (6.5)	0.40 (0.53)	0.19 (0.25) ▲53%	3.60 (4.79)	3.3 (4.4) ▲8%	0.20 (0.27)	0.02 (0.03) ▲90%	25%	←
130kW 以上 560kW 未満 のもの	3.50 (4.55)	3.5 (4.6)	0.40 (0.53)	0.19 (0.25) ▲53%	3.60 (4.79)	2.0 (2.7) ▲44%	0.17 (0.23)	0.02 (0.03) ▲88%	25%	←

注 1. 現行及び改正案欄中の値は平均値を表し、括弧内の値は上限値を表す。

2. CO、NMHC、NOx、PM の単位は g/kWh である。

3. 規制値 (CO、NMHC、NOx、PM) は、ディーゼル特殊自動車8モード法及び NRTC モード法によるもの。

4. 規制値 (ディーゼル黒煙) は、ディーゼル特殊自動車8モード法及び無負荷急加速黒煙の測定法によるもの。

5. 表中の▲の数字は、現行の平均値規制値からの低減率を示す。

6. NMHC 種の現行規制は炭化水素 (今回改正で炭化水素から NMHC に変更)。

出典:環境省・経済産業省・国土交通省パンフレット

図 15 特殊自動車の排ガス規制値

表 11 設定した車種の NO_x 規制値の例

車 両 名 ^{注1}	燃料	馬力 (kW)	負荷率 (%)	稼働時間 (時間/年)	排出係数 (g/kW/時間)	NO _x 規制値 (g/kWh)
ハイドラント給油車	ディーゼル	175	70	1,527	5.9	2.0
電源車及び冷暖房車	ディーゼル	149	75	2,034	4.3	2.0
航空機牽引車	ディーゼル	149	75	1,045	6.4	2.0
トーイングトラクター	ディーゼル	66	54	1,734	6.4	3.3

③ 駐車場

本調査にて設定した駐車台数を表 12 に示す。成田国際空港内には図 16 に示す 4 箇所の駐車場がある。成田国際空港殿より全駐車場の年間合計利用台数(時間貸/月極貸/従業員用)の情報を提供頂いたため、この数値を各駐車場の最大収容台数に応じて按分して値を設定した。月極め駐車場及び従業員用駐車場契約台数は一週間のうち 5 日使用すると仮定して台数を算出した。また、駐車場内の速度について、成田国際空港の駐車場内では 8km/h を超えないことと定められているため、本調査では安全側に見て 8km/h とした。駐車場の利用は、主に空港の運航内(6 時～23 時)が多いと考えられることから、5 時～24 時(従業員の利用等を考慮して運航時間の前後 1 時間を含めた)のみ排出されるよう設定した。

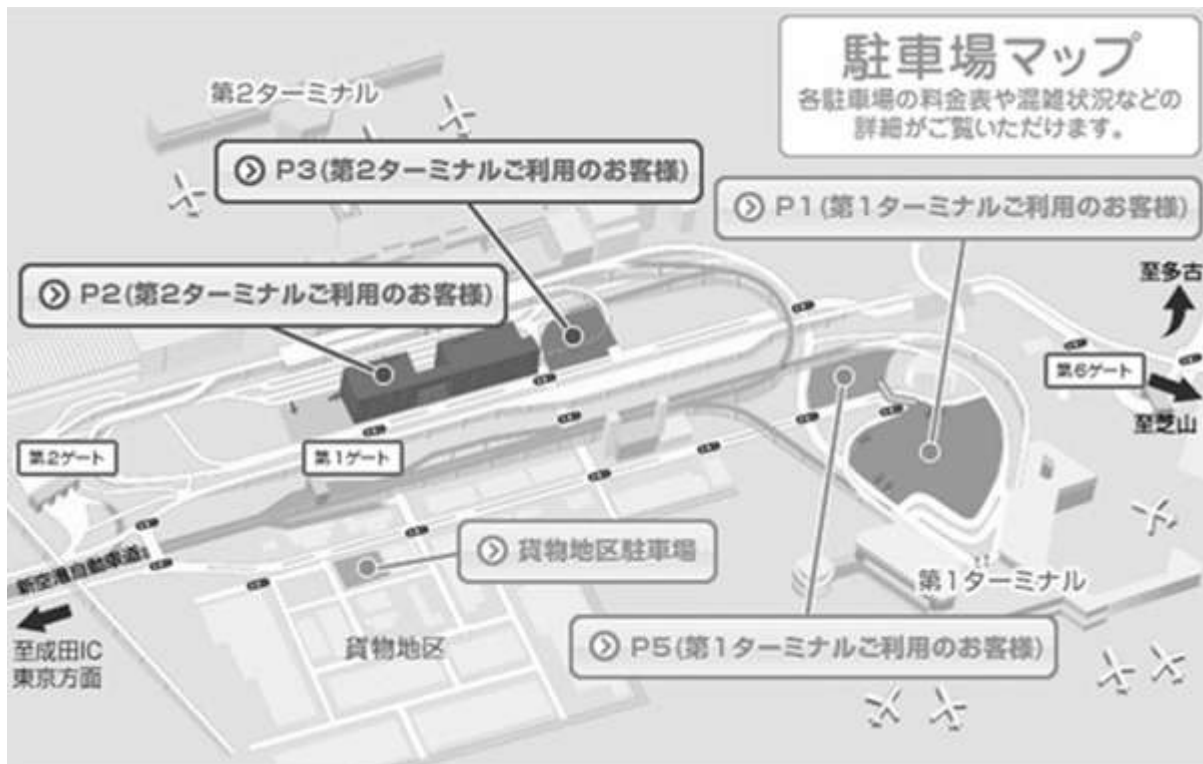
表 12 各駐車場について設定した駐車台数(平成 23 年度実績^{注1})

駐車場	最大収容台数		年間駐車台数 ^{注3} (台/年)
	台数 ^{注2} (台)	割合(%)	
P1	1,116	37	1,238,683
P5	442	15	490,589
P2(南側)	851	28	944,551
P2(北側)	583	19	647,090
合計	2,992	100	3,320,913

注 1: 全駐車場合計の年間利用台数のデータは成田国際空港(株)殿より提供頂いた。

注 2: 出典は 2012 成田空港ハンドブック。

注 3: シミュレーションに使用した値。年間合計駐車台数を最大収容台数に応じて按分した。



出典: 成田国際空港ホームページ <http://www.narita-airport.jp/jp/access/parking/index.html>

図 16 成田国際空港の駐車場レイアウト

④ 道路

EDMS では個別の道路を設定して計算することができるが、空港周辺の全ての主要道路をモデルに組み込むことは現実的ではない。本調査では、交通量の多い新空港自動車道と国道 295 号のみ設定し、自動車排ガスの影響及び再現性を検証することとした。両道路の交通量は成田国際空港殿より提供頂いたデータを使用した。なお、これらの道路からの排出は、自動車排ガスの検証にのみ使用し、それ以外の解析では除いている。自動車排ガスの影響については、周辺の常時監視局測定値を用いて補間することとした。

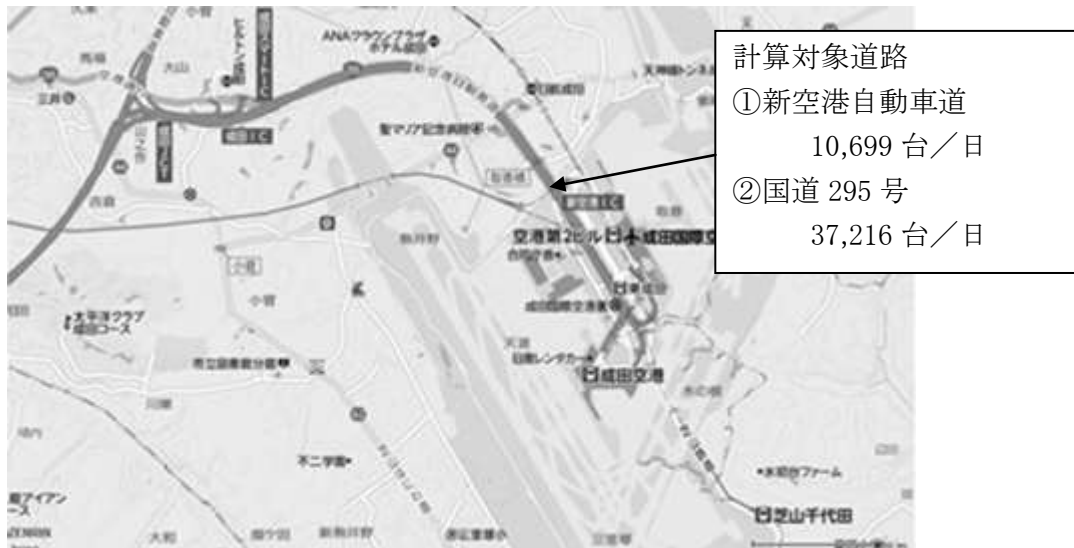


図 17 計算対象とした道路

⑤ 空港関連施設

成田国際空港内及び空港周辺における主な発生源を表 13 に示す。これらの施設のうち、規模の大きい中央冷暖房所(ボイラー、コージェネレーションシステム)、JAL 動力棟(ボイラー、コージェネレーションシステム)、廃棄物処分場を計算対象とした。各施設の排出係数を表 14 に示す。NO_x 及び廃棄物処理施設の CO は実測結果から算出した値を使用した。それ以外の物質は米国の排出係数データベースである AP42 の値を使用した。

表 13 空港内外の主な発生源

施設名	設備	燃料	台数
① 中央冷暖房所	ボイラー	都市ガス/A 重油 ^{注1}	4 基
	コージェネレーションシステム	都市ガス	2 基
② JAL 動力棟	ボイラー	都市ガス/A 重油 ^{注1}	3 基
	コージェネレーションシステム	都市ガス	1 基
③ ANA メンテナンスセンター	ボイラー	— ^{注2}	—
④ TFK 機内食工場 ホテル	ボイラー	—	—
⑤ JAL ロイヤルケータリング	ボイラー	—	—
⑥ 廃棄物処分場	廃棄物処理施設	—	2 炉

注 1: 通常は都市ガスを使用。冬季～春季の一時期のみ一部重油を使用しているが、使用量が少ないことと簡略化のため本調査では都市ガスのみとした。

注 2: —は情報が得られなかった項目を示す。

表 14 中央冷暖房所、JAL 動力棟、廃棄物処分場の各設備における排出係数

設備名		NO _x	CO	SO _x	PM	単位
①	コージェネレーションシステム (CGS-1)	1.05 ^{注1}	1.34 ^{注2}	0 ^{注4}	0.12 ^{注2}	kg-物質/1000m ³ -ガス
	コージェネレーションシステム (CGS-2)	1.00 ^{注1}	1.34 ^{注2}	0 ^{注4}	0.12 ^{注2}	kg-物質/1000m ³ -ガス
	ボイラー (WTB-4)	4.00 ^{注1}	1.34 ^{注2}	0 ^{注4}	0.12 ^{注2}	kg-物質/1000m ³ -ガス
	ボイラー (WTB-5)	1.64 ^{注1}	1.34 ^{注2}	0 ^{注4}	0.12 ^{注2}	kg-物質/1000m ³ -ガス
	ボイラー (WTB-6)	0.39 ^{注1}	1.34 ^{注2}	0 ^{注4}	0.12 ^{注2}	kg-物質/1000m ³ -ガス
	ボイラー (WTB-7)	0.83 ^{注1}	1.34 ^{注2}	0 ^{注4}	0.12 ^{注2}	kg-物質/1000m ³ -ガス
②	ボイラー (B-2)	1.06 ^{注1}	1.34 ^{注2}	0 ^{注4}	0.12 ^{注2}	kg-物質/1000m ³ -ガス
	ボイラー (B-3)	0.80 ^{注1}	1.34 ^{注2}	0 ^{注4}	0.12 ^{注2}	kg-物質/1000m ³ -ガス
	ボイラー (B-4)	0.71 ^{注1}	1.34 ^{注2}	0 ^{注4}	0.12 ^{注2}	kg-物質/1000m ³ -ガス
	コージェネレーションシステム	1.02 ^{注1}	1.34 ^{注2}	0 ^{注4}	0.12 ^{注2}	kg-物質/1000m ³ -ガス
⑤	廃棄物処理施設	0.06 ^{注3}	5.00 ^{注2}	0.02 ^{注3}	3.5 ^{注2}	kg-物質/t-廃棄物

注：燃料はコージェネレーションシステム及びボイラー燃料は都市ガス、廃棄物処理施設は廃棄物投入量を示す。番号(①、⑤)は表 13 に対応する。

注 1: 成田国際空港(株)殿、JAL ファシリティーセンター殿より提供頂いた排ガス実測結果より算出した。

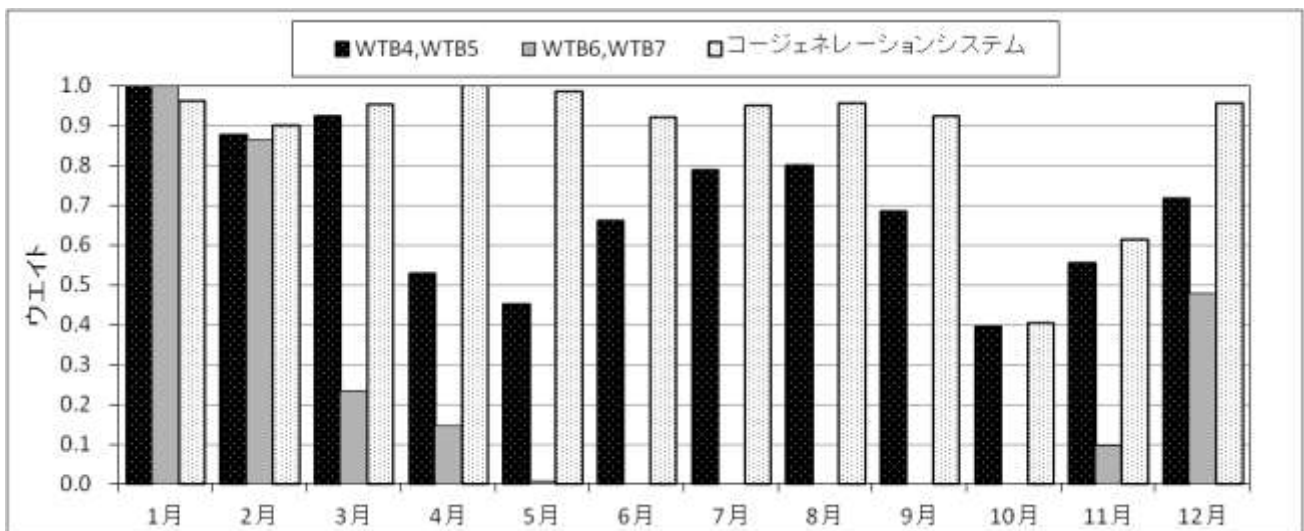
注 2: AP42 (<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/>) の値を使用した。なお、AP42 におけるボイラー燃焼時の NO_x の排出係数は 1.60～4.48kg-NO_x/1000m³-ガス。

注 3: 廃棄物処分場の管理会社である(株)ナリコーのホームページ (<http://www.narikoh.co.jp/haikibutsu/01.html>) にて公開されている排ガス測定結果を使用して算出。

注 4: 都市ガスは硫黄分がごく僅かであるため SO_x の排出係数は 0 とした。

一方、ボイラーやコージェネレーションシステムの活動量は季節によって大きく異なるため、年間値の計算を行う際は各施設の月別燃料使用量に応じてウェイトを設定した(図 18)。

※ EDMS では、年間の使用量のみ設定可能であるが、別途月別の使用割合(最も使用量が多い月を 1 とする)を設定することで、季節変化を再現することができる。

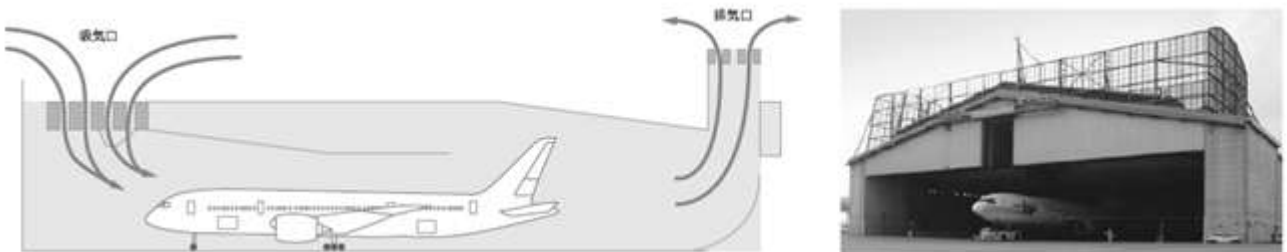


注: 月別・設備別の燃料使用量のデータは成田国際空港(株)殿より提供頂いた。施設ごとに最も燃料使用量の多い月を 1 とした。WTB はボイラーを示し、WTB4 及び WTB5 は年間を通して稼働、WTB6 及び WTB7 は冬季を中心に稼働している。

図 18 各設備の月別ウェイト(中央冷暖房所)

⑥ エンジン試運転

整備が完了した航空機は、安全確認のためエンジン試運転を行うことがある。成田国際空港では主にNRH(ノイズリダクションハンガー、図 19)内及び、A 滑走路東側のオープンスポットで燃焼試験を実施している(図 20)。



出典:成田国際空港 環境報告書 2012.

図 19 NRHの様子



図 20 成田国際空港における燃焼試験実施場所

本調査では、燃焼試験に係る情報として、成田国際空港殿より提供頂いた機種別・エンジン出力別の年間試験回数を用いて各種設定を行った。計算を行うためには、これらの情報に加えて、使用した燃料の種類及び物質別排出係数、燃料使用量の情報が必要となる。燃料及び排出係数は標準的なケロシン系のジェット燃料である JET A-1 (JP-8)とし、ICAO Database を基に各物質の排出係数を設定した(表 15)。

燃料使用量は、機種別の試験回数及び ICAO Database の数値及び、以下の仮定のもと推計した(表 16)。

なお、発生源の高さは、NRHを45m(排気口から排出されると仮定)、オープンスポットを2mとした。また、実際の試運転は数分程度であるが、ここでは、安全側に見て一時間とした。

※第3回検討会にてエンジン燃焼試験の設定方法に問題があるとの指摘を頂いたことを踏まえ、今回の計算では対象外とした。

表 15 JET A-1(JP-8)の排出係数

項目	設定	項目	設定値
一酸化炭素(CO)	2,035 g/gallon	硫黄酸化物(SO _x)	3 g/gallon
窒素酸化物(NO _x)	15 g/gallon	粒子状物質(PM10)	460 g/gallon

注:JP-8は軍用規格燃料としての名称。1gallon(米国液量ガロン)は約3.8リットル。

表 16 燃料使用量及び推計に使用したデータ

機種	代表的なエンジン	(a) 燃料流量 ^{注1} (kg/秒)		(b) エンジン 基数	(c) 試験回数 ^{注2} (回)				(d) 燃料使用量 ^{注3} (t/年)			
		テイク オフ	アイド リング		NRH		オープン スポット		NRH		オープン スポット	
					HI	LOW	HI	LOW	HI	LOW	HI	LOW
A320	CFM56-5A1	1.1	0.1	2	4	11	0	0	30	8	0	0
A330	CF6-80E1A1	2.7	0.2	2	2	0	1	0	39	0	19	0
A340	CFM56-5C4	1.5	0.1	2	1	0	0	0	10	0	0	0
B737-700	CFM56-7B	0.9	0.1	2	36	26	0	0	221	18	0	0
B744	CF6-80C2BIF	2.3	0.2	2	25	3	0	0	421	4	0	0
B747	CF6-50E2	2.5	0.2	2	2	0	0	0	36	0	0	0
B757	RR535E4	1.9	0.2	2	27	5	1	0	360	6	13	0
B767	CF6-80	2.1	0.2	2	157	114	4	0	2,425	123	62	0
B777	GE90-115B	4.7	0.4	2	48	177	43	0	1,620	484	1,452	0
B787	Trent 1000	2.1	0.2	2	1	0	0	0	15	0	0	0
MD11	PW4460	2.6	0.2	2	1	0	0	0	19	0	0	0

注1:ICAO Database (<http://www.icaoata.com/Trial/WhatIsICAO.aspx>)。

注2:成田国際空港(株)殿より提供頂いた。H23年度の年間試験回数。H23年度はNRH及びオープンスポットの他に、タキシング道路でも実施されているが、1度のみであり影響は小さいと考えられるため対象外とした。

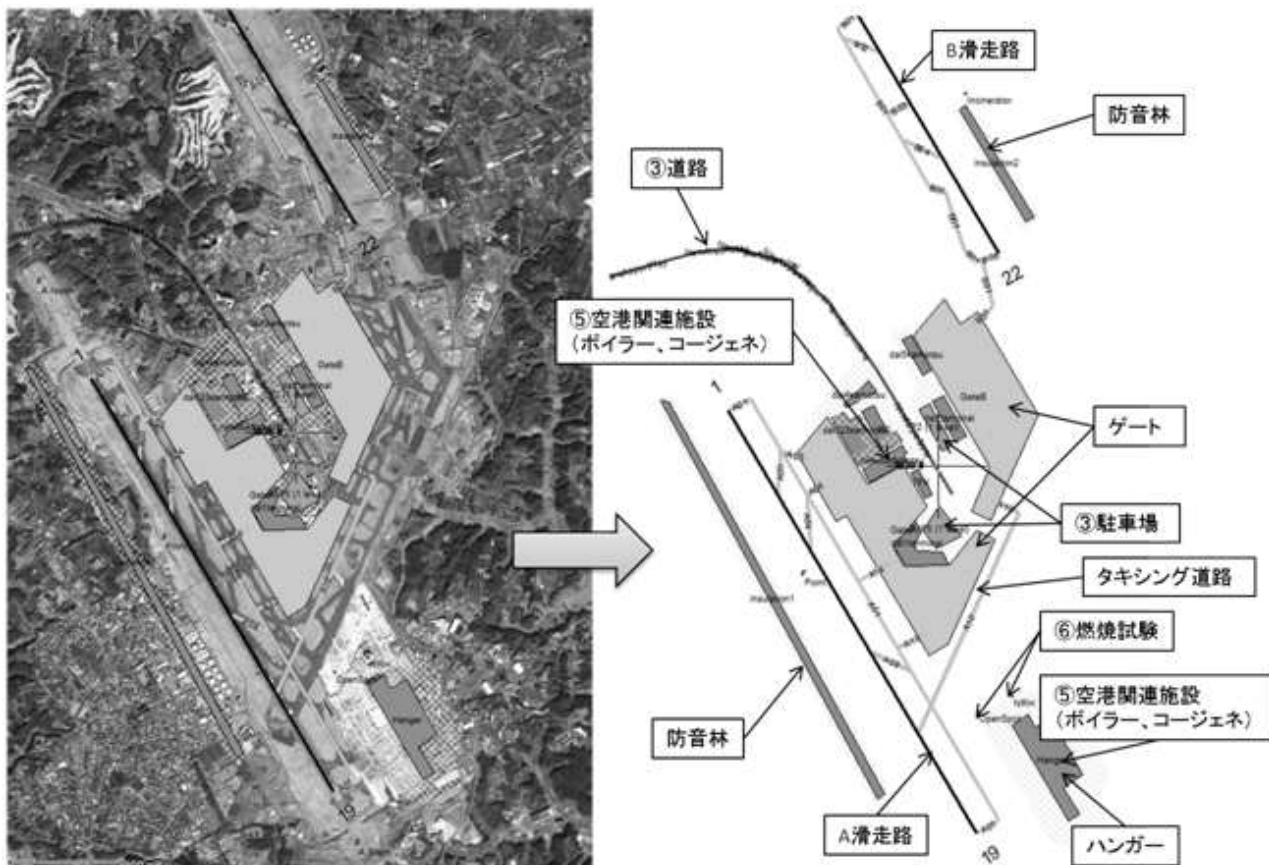
注3:(d) = (a) × (b) × (c) × 3600にて算出。試験1回の燃焼時間を1時間と仮定し、3600を乗じた。

⑦ 空港レイアウトの設定

EDMSでは地図や航空写真を取り込み、各発生源や建物等を1m単位で設定することができる。本調査にて設定した空港レイアウトを図21に示す。ターミナルビルやハンガー⁹等の建物は拡散場に影響を与える。本調査では、航空写真及び成田国際空港殿より提供頂いた建物の寸法を基にこれらを設定した。また、成田国際空港にはA滑走路の西側とB滑走路の東側に高さ10m程度の防音堤・防音林があり、拡散場に影響を与える可能性があることからこれらも設定した。

なお、GSE及び航空機(APU)は、ゲートから排出される。航空機(メインエンジン)は、各モードを考慮して排出量が計算され、タキシング及びランディングはタキシング道路から、テイクオフ及びアプローチは滑走路から排出される。

⁹ 航空機を雨風や砂塵などから守り、中で整備や補給、待機などを行う格納施設のこと。



注: 図中の丸数字は表 6 に対応する。

図 21 空港レイアウト

⑧ 気象条件の設定

EDMS では、拡散場を計算するために地表面の気象観測データと上層観測データ(ゾンデデータ)を用意する必要がある。本調査では、地表面気象観測データは成田空港内に位置する「AMeDAS 成田」、ゾンデデータは成田国際空港から最も近い「館野(茨城県つくば市)」の測定値を使用した。なお、EDMS は米国で開発されたモデルであるため、米国環境庁(EPA)及び米国気象庁(NOAA)指定のフォーマットに変換する必要がある(表 17)。本調査では前述した日本の気象庁データを SCRAM 形式、TD-6201 形式に変換して使用した。

表 17 EDMS にて使用可能な気象データのフォーマット

フォーマット	地上観測／上層観測	開発元
<ul style="list-style-type: none"> • TD-3280, TD-3505 • CD144 • HUSWO 	地上観測	NOAA, National Climatic Data Center (NCDC) http://www.ncdc.noaa.gov/
<ul style="list-style-type: none"> • SCRAM 	地上観測	EPA http://www.epa.gov/
<ul style="list-style-type: none"> • TD-6201, • FSL format 	上層観測	NOAA, National Climatic Data Center (NCDC) http://www.ncdc.noaa.gov/

⑨ バックグラウンドの設定

一般に、自動車や工場などの影響を直接受けていない地域でも、大気汚染物質の濃度はゼロではなく、NO_xやSO₂の場合は数ppb程度あるとされている。これらの濃度は「バックグラウンド濃度」と呼ばれており、シミュレーションを行う際に考慮することが望ましい。特に、今回作成したモデルでは、設定した排出源からの濃度のみの計算するため、空港周辺の道路(自動車)や越境汚染等の影響は別途考慮する必要がある。

成田国際空港は、航空機の運航時間が6～23時までと定められているため、それ以外の時間(24～5時)は空港関連の発生源の影響は殆んど無いと推察される。したがって、本調査では自主測定局(6地点)の運航時間外(24～5時)の平均値をバックグラウンドとして使用した。ただし、NO_xは昨年度調査における分析結果から、自主測定局においては航空機等の発生源の影響を強く受けている可能性が高いことと、運航時間外でも高濃度であることから、空港周辺の常時監視局測定値を用いることとした。成田国際空港の15km圏内の常時監視局を図22に示す。これらの測定局のうち、年間を通じて濃度が低く、周辺に顕著な発生源がない芝山山田と成田奈土の平均値を使用することとした。使用したバックグラウンド濃度を表18に示す。

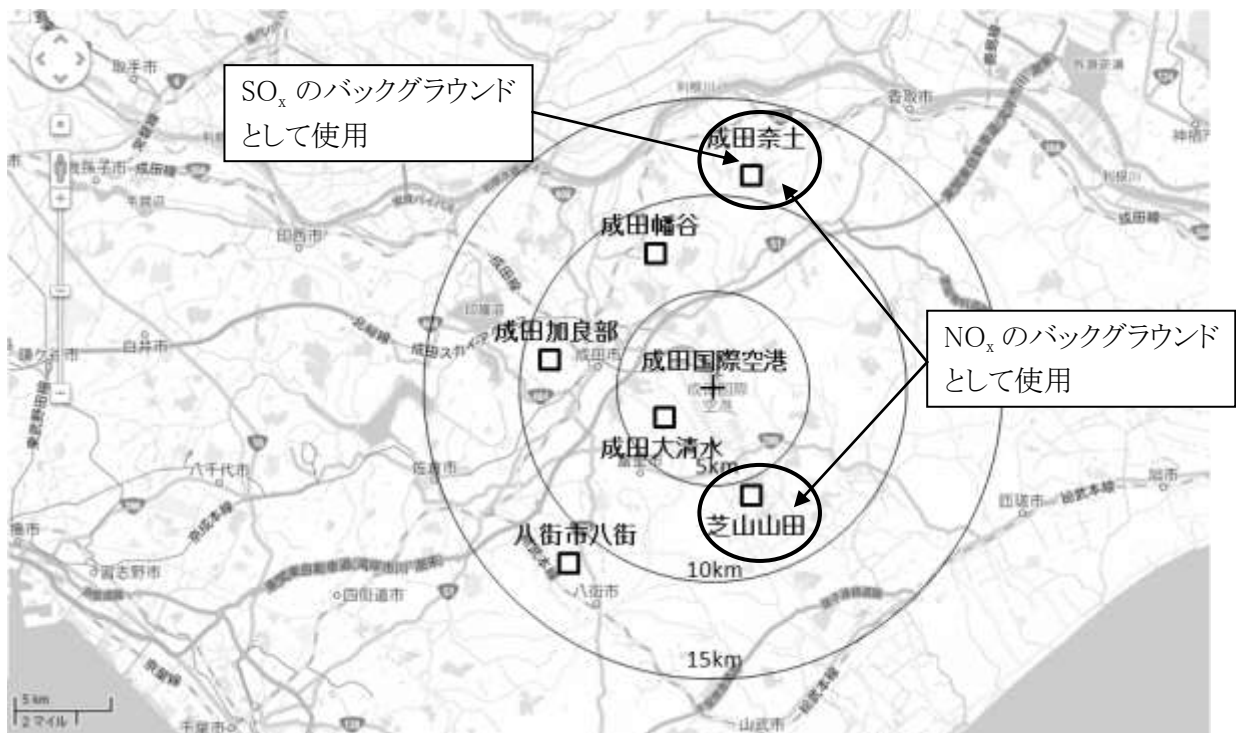


図22 成田国際空港周辺の常時監視局(一般局)

表18 空港周辺の常時監視局測定値(2009年、月平均)

物質	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
NO _x (ppb)	16.4	12.7	8.9	7.7	6.5	7.4	6.9	6.2	7.4	10.0	15.7	19.5
SO ₂ (ppb)	0.6	0.2	0.4	0.2	0.2	0.2	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.3
CO (ppb)	293	267	233	240	183	200	147	160	180	243	277	337
PM10 ^注 (μg/m ³)	16.2	21.1	14.1	18.2	19.8	21.1	19.8	17.3	16.6	18.0	18.8	16.1

注:PM10濃度はSPM濃度から換算式⁶⁾(PM10=SPM×1.07)によって算出した。

2.4.3 計算結果

① 発生源別排出量

EDMSにて計算した発生源別の年間排出量を表19に示す。航空機(メインエンジン)はNO_xの排出が顕著であり1,210トンの排出があるが、昨年度調査¹⁰における推計結果(2,526トン)と比較すると約50%と少ない結果となった。一方、APUはメインエンジンと比較して多くの物質の排出量が少ないものの、COのみ2倍の排出量がある。CO及びPM10の排出量は、エンジン試運転による排出が他の発生源と比べて顕著に多い。

参考として、本調査で対象としていないCO₂は、EDMSにて航空機(メインエンジン)のみ算出が可能であり、先行調査¹¹における推計結果(成田国際空港の航空機関連;307,029トン)の約60%であった。

表19 発生源別の年間排出量

発 生 源		対 象 物 質(トン/年)			
		CO	NO _x	SO _x	PM10
①	航空機(メインエンジン)	727	1,535	96	6
	航空機(APU)	47	39	5	8
②	空港内作業車(表20参照)	812	109	3	5
③	駐車場(表21参照)	29	3	0	0
④	道路(表21参照)	395	56	0	2
⑤	空港関連施設(表22参照)	213	51	1	115
合 計		2,224	1,794	105	137

表20 空港内作業車からの年間排出量

発 生 源		対 象 物 質(トン/年)			
		CO	NO _x	SO _x	PM10
①	ハイドラント給油車	0.223	0.804	0.027	0.041
②	電源車及び冷暖房車	0.294	1.338	0.035	0.076
③	航空機牽引車	0.690	2.016	0.048	0.127
④	トーイングトラクター	0.021	0.079	0.003	0.003
⑤	パッセンジャーステップ車	0.027	0.098	0.003	0.005
⑥	ハイリフトローダー	0.070	0.185	0.012	0.012
⑦	メインデッキローダー	0.150	0.294	0.007	0.032
⑧	ベルトローダー	0.147	0.277	0.007	0.024
⑨	トランスポーター	5.311	0.263	0.012	0.006
合 計		6.933	5.354	0.154	0.326

¹⁰ 環境省 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、2012。

¹¹ 国土交通省 国土技術政策総合研究所、「空港からの二酸化炭素排出量の算定と削減効果の推計」524、2009。

表 21 駐車場及び道路からの年間排出量

発 生 源		対 象 物 質(トン/年)			
		CO	NO _x	SO _x	PM10
①	駐車場(P1・P5)	15	1.6	0.008	0.03
②	駐車場(P2・P3)	14	1.5	0.008	0.03
③	新空港自動車道・国道 295 号	395	56	0.487	1.92
合 計		425	59	0.5	1.3

表 22 空港関連施設からの年間排出量

発 生 源			対 象 物 質(トン/年)			
			CO	NO _x	SO _x	PM10
①	中央冷暖房所	コージェネレーションシステム(CGS-1)	13	10	0	1.1
②	中央冷暖房所	コージェネレーションシステム(CGS-2)	12	9	0	1.1
③	中央冷暖房所	ボイラー(WTB-4)	4	12	0	0.4
④	中央冷暖房所	ボイラー(WTB-5)	3	4	0	0.3
⑤	中央冷暖房所	ボイラー(WTB-6)	1	0	0	0.1
⑥	中央冷暖房所	ボイラー(WTB-7)	1	1	0	0.1
⑦	JAL 動力棟	ボイラー(B-2)	4	3	0	0.4
⑧	JAL 動力棟	ボイラー(B-3)	6	4	0	0.6
⑨	JAL 動力棟	ボイラー(B-4)	6	3	0	0.6
⑩	JAL 動力棟	コージェネレーションシステム	4	3	0	0.4
⑪	廃棄物処理施設		158	2	0.8	111
合 計			213	51	1	115

② ケース①: 昨年度実測期間の再現性検証

昨年度調査では、成田国際空港 A 滑走路西側(地点 1)と空港外(空港ターミナルの南南東方向)にて測定小屋を設置し、調査を行なった(図 23)。各測定地点における項目及び時間分解能は表 23 に示すとおり。

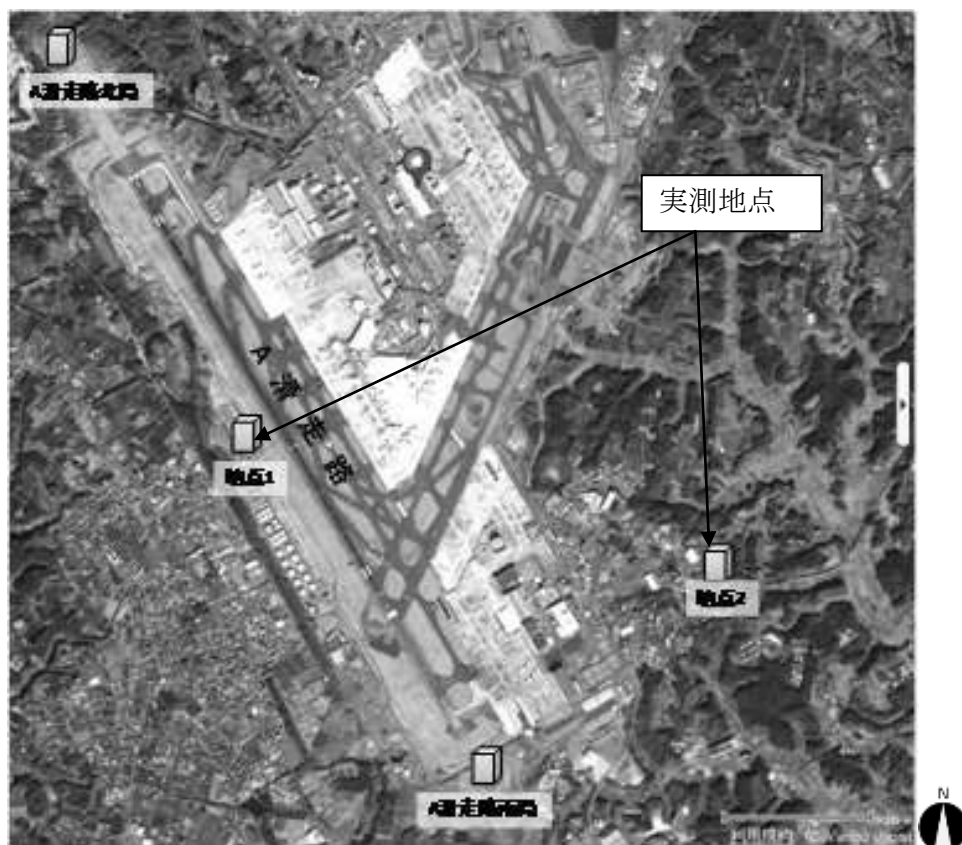


図 23 実測地点の配置

表 23 各測定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 ₂	ppm	1時間値
	CO	ppm	1時間値
	NMHC	ppmC	1時間値
	PM2.5 重量濃度	μg/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 ₂	ppm	1時間値
	CO	ppm	1時間値
	NMHC	ppmC	1時間値
	PM2.5 重量濃度	μg/m ³	1時間値
	風向・風速	—	1時間値

ア) 滑走路直近の実測結果との比較

計算結果の精度を検証するため、昨年度実測結果のうち滑走路直近の測定結果(地点 1)と最も近いメッシュの値との比較を行った。なお、バックグラウンド濃度には、前述した通り、「芝山山田」と「成田奈土」の平均値を用いた。物質は昨年度調査結果から航空機通過時に顕著な濃度上昇が見られた NO_x とした。

期間中の濃度の推移を図 24 に示す。シミュレーション結果では、一部の時間帯で高濃度のピークが見られるものの、全体的な傾向は非常に近く、計算の精度は高いと考えられる。

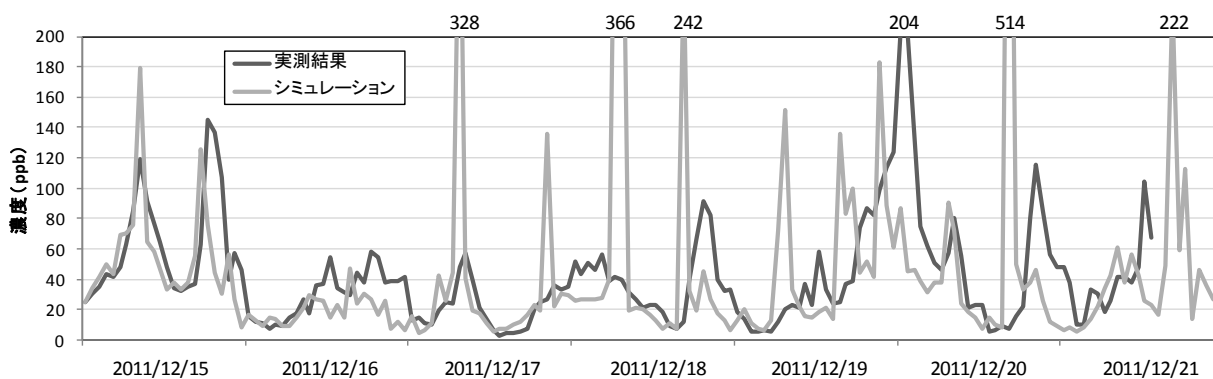


図 24 実測結果とシミュレーション結果の比較(NO_x)

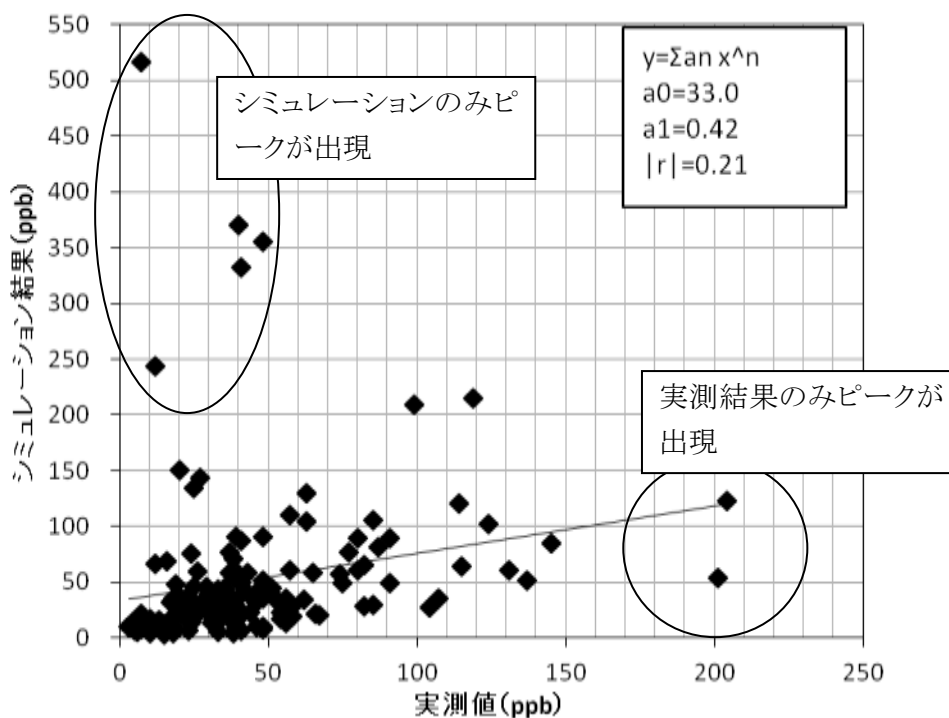


図 25 実測結果とシミュレーション結果の相関

1) 発生源別の濃度

シミュレーション結果に見られたピークの要因を明らかにするため、発生源別濃度の推移を確認した(図26)。この結果から、顕著なピークは主に航空機排ガスによるものであることが確認された。次に、本計算結果における実測地点の発生源別寄与率を図27に示す。航空機排ガスの影響が最も大きく、全体の約8割を占める。なお、本調査において設定した道路は2本のみであるため、実際は若干寄与が大きいと推察される。ここで、ゲートは空港内作業車及び航空機の搭乗口やタクシング道路など、航空機が滑走路に向かうまでの段階で排出された排ガスを示す。したがって、考え方によってはゲートからの排出の一部も航空機によるものとみなすことができる。

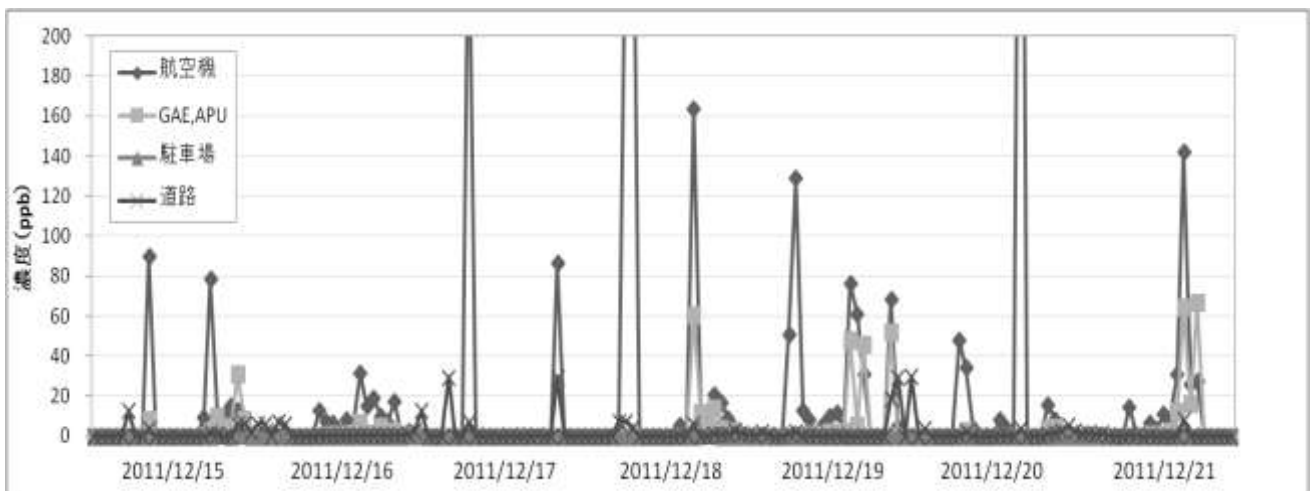


図 26 発生源別濃度の推移

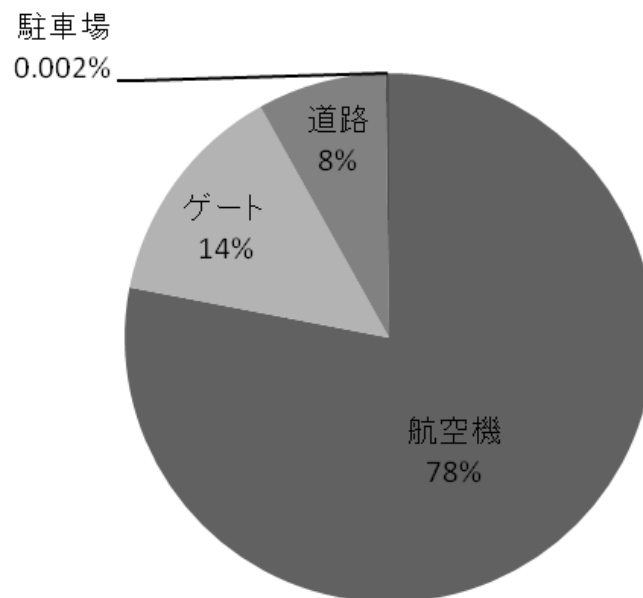


図 27 実測地点における発生源別の寄与率(バックグラウンド以外)

ウ) 空間分布

各汚染物質の影響範囲を確認するため、特に結果が一致していた12月15日を対象に空間分布の推移を確認した。シミュレーションに使用した12月15日のフライト本数を図28に示す。午前9時頃からフライト本数が多くなり、19時までは1時間に平均して40本程のフライトがあった。

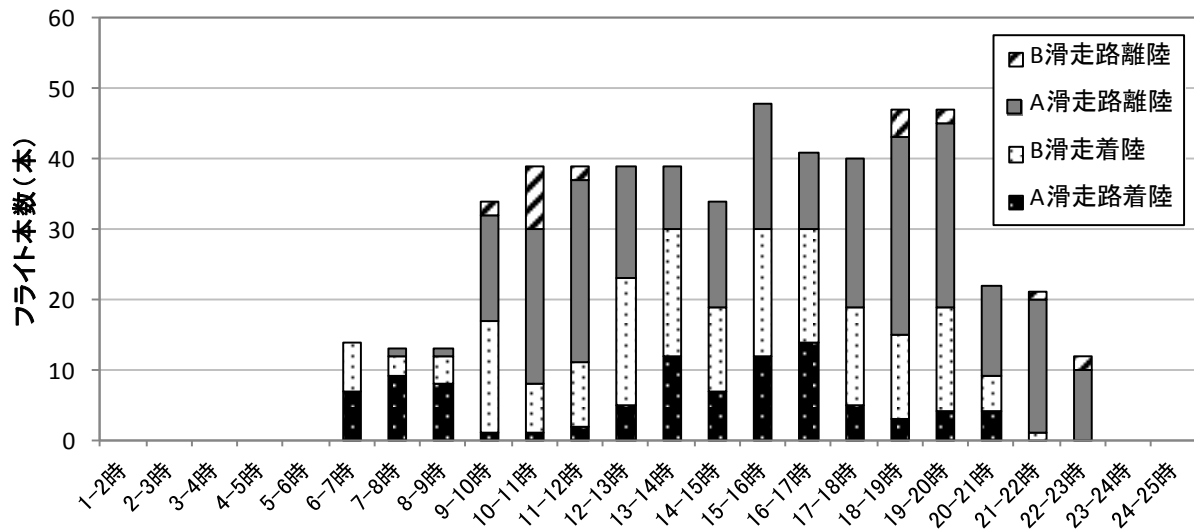


図 28 滑走路別フライト本数(2011年12月15日)

次に気象状況を表24に示す。日中はこの季節には珍しく西～南寄りの風が卓越し、気温が15度以上となった。夕方から風系が変化し、北～北東よりの風が卓越している。

表 24 AMeDAS 成田における気象観測値(2011年12月15日)

時間	気温	風速	風向	時間	気温	風速	風向
1	6.8	2.1	西	13	15	2.2	西南西
2	6.6	1.3	西南西	14	15.6	1.1	西南西
3	5.4	2.1	西	15	15.6	1.5	西
4	2.3	1.2	南南西	16	13	1	西南西
5	1.4	0.5	西	17	10.8	0.8	東南東
6	-0.4	0.9	北北西	18	11.8	3	北
7	-0.3	1.1	南西	19	11	4.2	北北東
8	3.1	0.3	南南東	20	9.8	5.3	北東
9	6.9	0.9	北	21	9.4	4.1	東北東
10	10	0.8	西	22	8.1	2.8	北北東
11	11.9	2.7	西北西	23	7.6	2.8	北北東
12	12.7	1.9	西	24	6.5	3	北

12月15日のうち、特徴的な時間帯のNO_x濃度の分布を図29に示す。早朝のフライト本数が少ない時間帯(6時)は殆ど排ガスの影響が見られない。実測地点及び実測結果と比較を行なったメッシュにてピークが見られた9時と18時の分布を見ると、北寄りの風が卓越し、実測地点に向けて汚染物質が流れてくる様子が再現されている。

一方、この日最も高濃度となった17時の分布を見ると、B滑走路では滑走路の北北西方向に数百m離れた地点にピークが見られた。EDMSでは上空3000フィートまでの排出を考慮しており、これらは、着陸に伴い上空で排出された汚染物質が下層に輸送されたものと推察される。

また、今回は空港の中心から10km四方を計算対象としたが、9時や17時の分布を見るとさらに遠方に輸送されている様子が見られる。

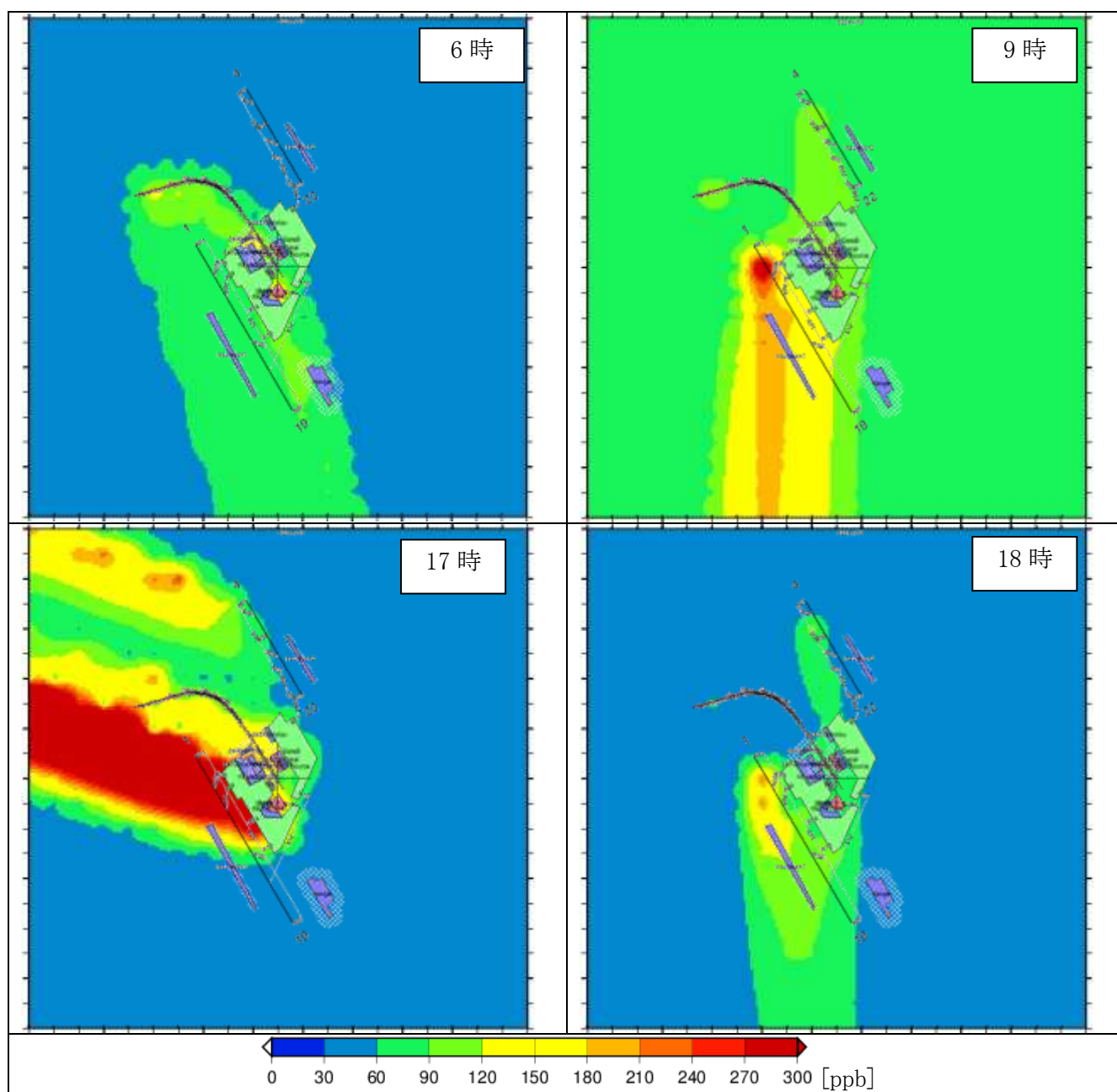


図29 NO_x濃度の空間分布

③ ケース②:年間値の再現性検証

年間値(2009年)の計算結果の再現性を検証するため、表25に示す項目を対象に分析を行った。計算精度の検証に使用したモニタリング地点は図30に示すとおり。

表25 計算結果の検証項目と目的

検証項目	内容
ア) 自動車排ガスの影響	<ul style="list-style-type: none"> EDMSにて道路(自動車)からの排出は設定可能だが、空港周辺の主要道全てを設定することは現実的ではない。 交通量が最も大きい新空港自動車道及び国道295号のみ設定して計算を実施し、その影響を把握。
イ) バックグラウンド濃度の影響評価	<ul style="list-style-type: none"> 自動車排ガス等のモデルで考慮していない発生源については何らかの形で補間することが望ましい。 ここでは、周辺の常時監視局測定値を用いることでそれらを再現するとともに、その手法の適用性を検証する。
ウ) 季節別(月別)の再現性	<ul style="list-style-type: none"> 夏季(7月)と冬季(12月)を対象に、計算結果と実測値の日平均値等を用いて再現性を検証する。
エ) 空港関連排ガスの寄与率及び影響範囲	<ul style="list-style-type: none"> 発生源別の影響範囲、寄与率を把握する。

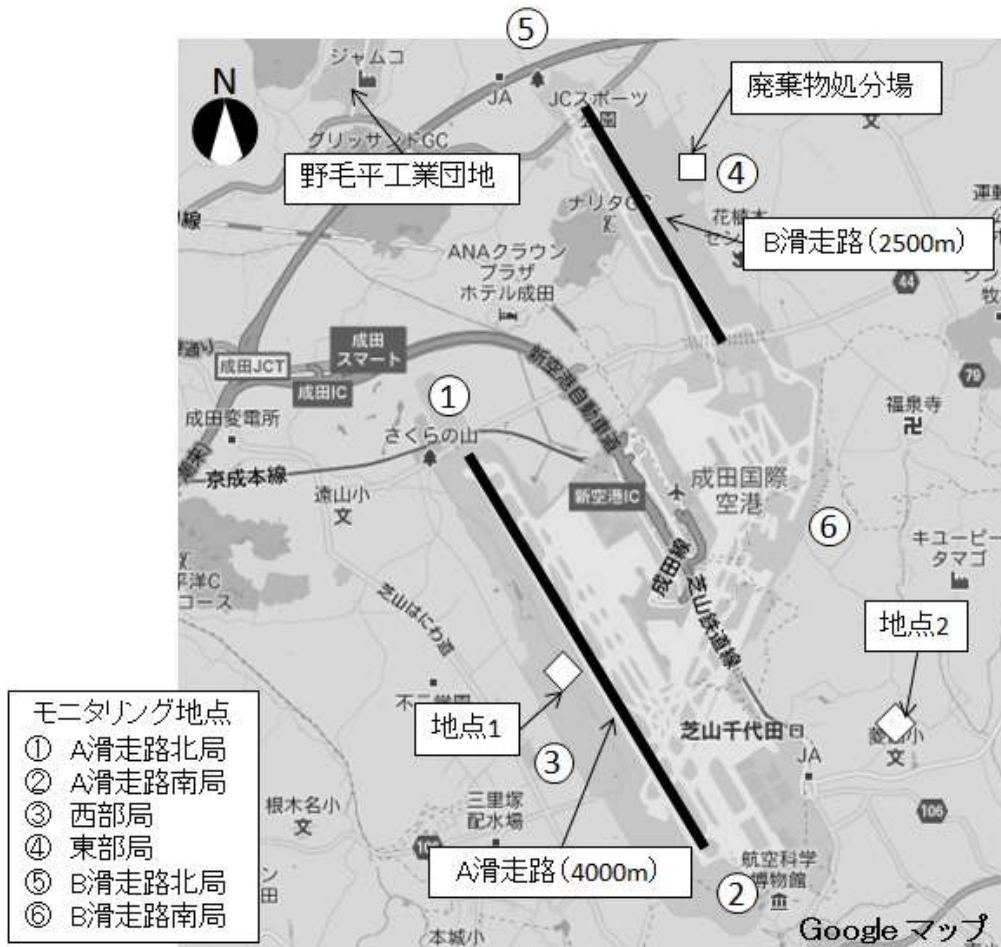


図30 モニタリング地点の分布

7) 自動車排ガスの影響

成田国際空港の周辺には、高速道路(新空港自動車道、東関東自動車道)の他に、国道 295 号、51 号、296 号といった 10,000 台/日以上交通量がある道路が位置しており、自動車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(図 31)。EDMS では、自動車(道路)の排ガスを設定することが可能であるが、空港周辺の主要な道路全てを設定することは現実的ではない。本調査では、EDMS における自動車排ガスの影響の程度を把握するため、空港周辺で最も交通量の多い新空港自動車道及び国道 295 号を発生源として設定して計算を行った。

検証は、道路の直近に位置する A 滑走路北局の計算結果を使用した。なお、本調査におけるモデルでは地形の影響を考慮していないが、実際は道路と A 滑走路北局には数 m の高低差があり、A 滑走路北局の方が高い位置にあるため影響はより小さくなる可能性がある。

A 滑走路北局における計算結果と実測値の比較結果を図 31 に示す。4 月～10 月は計算結果と実測値が非常に良く一致しているが、冬季は実測結果の方が大きくなっている。

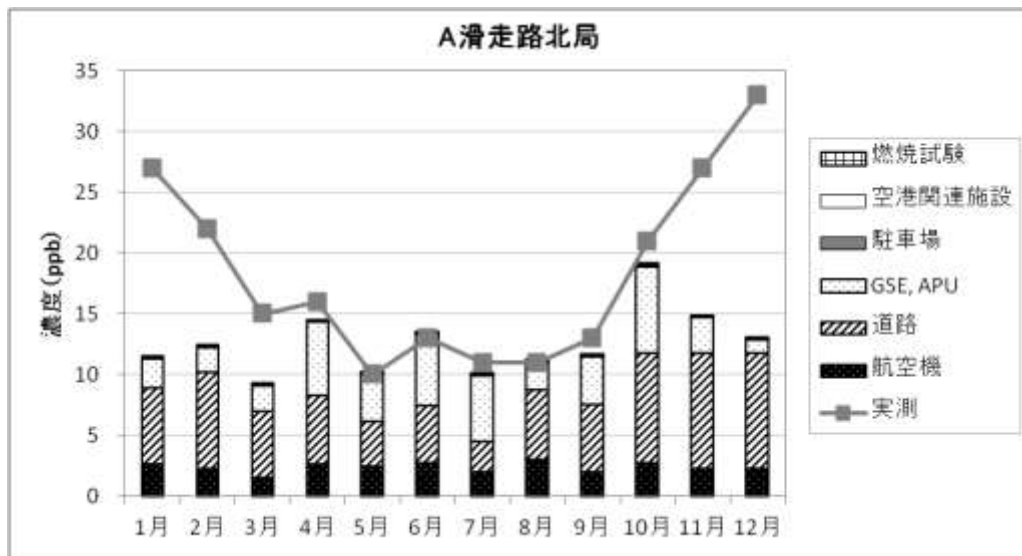
【主な知見のまとめ】

- ・ 春季～秋季(4 月～10 月)は、自動車の影響を考慮することで実測結果と非常に近い値となった。また、これらの季節においては自動車排ガスの占める割合が大きく 3～5 割を占める。
- ・ 自動車からの排出を除くと全季節で計算値が過小となった。
- ・ 自動車排ガスの影響を設定することで計算結果と実測が一致するということは、言い換えれば自動車排ガスの影響は何らかの形で考慮しないと再現性が低くなることになる。



出典: 国土地理院 ウォッチ図

図 31 新空港自動車道及び国道 295 号と A 滑走路北局の配置図



注:航空機はメインエンジン、道路は新空港自動車道と国道 295 号の合計値を示す。

図 32 A 滑走路北局における発生源別濃度と実測結果

イ) バックグラウンド濃度の影響評価

モデルで考慮した発生源の他に空港周辺の大気環境に影響を与える要因としては、前述した自動車や工場等の主に空港外の発生源、越境大気汚染等があり、これらは何らかの形で考慮する必要がある。ここでは、それらを総じてバックグラウンド濃度と定義し、その影響を補間するため空港周辺の常時監視局（一般局）測定値の平均値を加算することとした。ここでは、加算の妥当性を確認するため、各モニタリング地点の実測結果と計算結果を比較した。

バックグラウンドを考慮しない場合（表 26）、A 滑走路南局及び東部局の全期間で計算結果が実測結果に比べて極端に過小になった。また、B 滑走路南局を除くその他の測定局においても冬季に低くなる傾向が見られた（表 27）。一方、バックグラウンドを考慮すると B 滑走路北局及び B 滑走路南局で過大になる傾向が見られるが、その他の測定局では冬季の差が小さくなるなど、実測結果と比較して±20%程度となった。例として、A 滑走路北局の比較結果を図 33 に示す。なお、以降の解析ではバックグラウンド濃度として常時監視局測定値を加算した値を用いることとする。

表 26 NO_x の計算結果と実測結果の比率（バックグラウンドなし）

測定局	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
A 滑走路北局	0.23	0.28	0.30	0.67	0.84	0.85	0.97	0.41	0.50	0.56	0.23	0.11
A 滑走路南局	0.23	0.27	0.43	0.74	0.20	0.41	0.04	0.46	0.36	0.48	0.51	0.41
B 滑走路北局	0.14	0.19	0.21	0.40	0.73	0.52	0.65	0.60	0.49	0.39	0.20	0.12
B 滑走路南局	0.94	0.93	0.44	1.22	0.71	1.03	0.83	0.93	1.17	1.19	0.90	1.12
東部局	0.36	0.27	0.31	0.73	0.47	0.34	0.47	0.10	0.36	0.21	0.19	0.18
西部局	0.49	0.79	1.09	1.12	1.59	1.90	1.15	3.03	2.78	1.91	1.17	0.65

注：数値は、計算結果／実測結果。0.5 以下（計算結果の方が 50% 低い）をグレーでハッチング、1.5 以上（計算結果の方が 50% 高い）を太字・下線で示す。

表 27 NO_x の計算結果と実測結果の比率（バックグラウンドあり）

測定局	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
A 滑走路北局	0.83	0.85	0.89	1.16	1.49	1.42	1.59	0.98	1.06	1.03	0.81	0.70
A 滑走路南局	0.83	0.83	0.95	1.34	0.92	1.15	1.02	1.35	1.09	1.11	1.14	1.00
B 滑走路北局	1.17	1.25	1.20	1.10	1.54	1.34	1.41	1.50	1.71	1.39	1.41	1.15
B 滑走路南局	1.85	1.68	1.24	2.08	1.79	2.08	1.81	2.17	2.23	2.30	1.82	2.10
東部局	1.18	0.94	1.05	1.28	0.97	0.87	1.09	0.58	0.82	0.69	0.71	0.71
西部局	1.08	1.30	1.64	1.76	2.31	2.63	1.83	3.81	3.70	2.63	1.96	1.37

注：数値は、計算結果／実測結果。0.5 以下（計算結果の方が 50% 低い）をグレーでハッチング、1.5 以上（計算結果の方が 50% 高い）を太字・下線で示す。

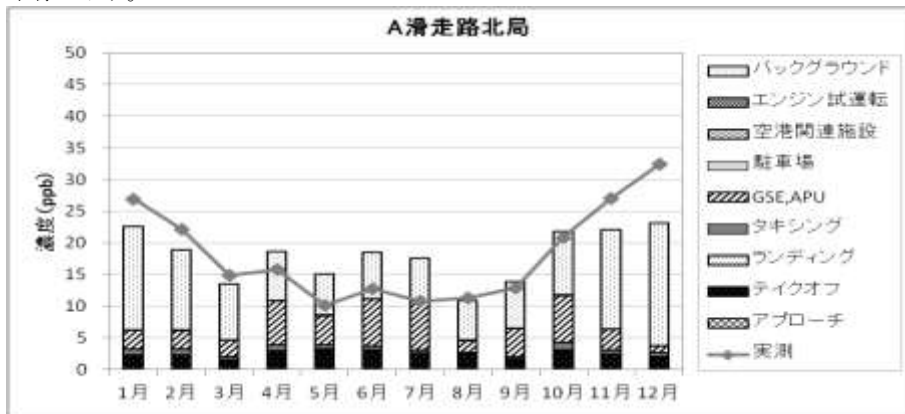


図 33 月平均濃度と計算結果の比較（NO_x、A 滑走路北局）

次に CO 及び PM10 の比較結果を表 28～表 31 に示す。これらの物質の計算結果は、実測結果に比べて大幅に小さく、バックグラウンド濃度が大部分を占めることから空港関連排ガスが周辺の大気環境に与える影響は非常に小さいことが示された。A 滑走路北局の比較結果を図 34 に示す。

表 28 CO の計算結果と実測結果の比率(バックグラウンドなし)

測定局	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
A 滑走路北局	0.06	0.06	0.09	0.21	0.16	0.24	0.28	0.13	0.17	0.26	0.09	0.03
A 滑走路南局	0.07	0.10	0.17	0.21	0.06	0.11	0.02	0.11	0.09	0.18	0.26	0.23
B 滑走路北局	0.04	0.03	0.04	0.11	0.13	0.11	0.19	0.17	0.09	0.08	0.07	0.03
B 滑走路南局	0.16	0.17	0.17	0.33	0.31	0.31	0.41	0.17	0.27	0.25	0.21	0.22
東部局	0.04	0.03	0.05	0.14	0.13	0.05	0.08	0.02	0.07	0.01	0.03	0.03
西部局	0.06	0.07	0.07	0.05	0.10	0.15	0.11	0.22	0.17	0.13	0.10	0.06

注:数値は、計算結果/実測結果。0.5以下(計算結果の方が50%低い)をグレーでハッチング、1.5以上(計算結果の方が50%高い)を太字・下線で示す。

表 29 CO の計算結果と実測結果の比率(バックグラウンドあり)

測定局	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
A 滑走路北局	0.90	0.89	1.08	1.11	0.95	1.12	1.11	1.00	1.04	1.23	0.96	0.91
A 滑走路南局	1.15	1.22	1.38	1.30	0.95	1.10	0.93	1.11	1.05	1.34	1.41	1.51
B 滑走路北局	1.58	1.52	1.36	1.31	1.09	1.15	1.32	1.32	1.40	1.45	1.31	1.08
B 滑走路南局	1.14	1.07	1.11	1.28	1.24	1.26	1.35	1.21	1.40	1.42	1.15	1.32
東部局	0.89	0.83	0.94	1.18	1.26	0.97	0.82	0.83	0.84	0.88	0.87	0.86
西部局	0.79	0.78	0.91	0.80	0.82	0.96	0.84	0.99	0.91	0.99	0.86	0.81

注:数値は、計算結果/実測結果。0.5以下(計算結果の方が50%低い)をグレーでハッチング、1.5以上(計算結果の方が50%高い)を太字・下線で示す。

表 30 PM10 の計算結果と実測結果の比率(バックグラウンドなし)

測定局	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
A 滑走路北局	0.04	0.03	0.05	0.08	0.04	0.05	0.06	0.05	0.06	0.07	0.05	0.03
A 滑走路南局	0.07	0.07	0.10	0.07	0.05	0.04	0.01	0.06	0.12	0.10	0.14	0.13
B 滑走路北局	0.01	0.01	0.02	0.05	0.03	0.03	0.04	0.03	0.01	0.02	0.02	0.01
B 滑走路南局	0.08	0.07	0.12	0.08	0.08	0.07	0.08	0.04	0.08	0.08	0.09	0.11
東部局	0.06	0.03	0.06	0.04	0.03	0.02	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
西部局	0.03	0.03	0.06	0.05	0.05	0.05	0.04	0.08	0.07	0.05	0.05	0.04

注:数値は、計算結果/実測結果。0.5以下(計算結果の方が50%低い)をグレーでハッチング、1.5以上(計算結果の方が50%高い)を太字・下線で示す。PM10濃度はSPM濃度から換算式⁶(PM10=SPM×1.07)によって算出した。

表 31 PM10 の計算結果と実測結果の比率(バックグラウンドあり)

測定局	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
A 滑走路北局	1.19	1.26	1.34	1.23	1.02	0.98	1.11	1.03	1.11	1.14	1.29	1.12
A 滑走路南局	1.14	1.21	1.06	0.96	1.05	0.88	1.12	1.12	1.17	1.26	1.62	1.56
B 滑走路北局	0.94	1.01	1.19	1.23	0.93	0.87	0.91	0.81	0.81	0.83	1.05	0.92
B 滑走路南局	1.21	1.26	1.09	0.99	1.14	1.07	1.30	1.14	1.11	1.19	1.22	1.21
東部局	1.13	1.15	1.03	0.95	1.00	0.91	0.93	0.80	0.80	0.89	1.10	0.93
西部局	1.15	1.12	1.29	1.26	0.97	0.94	1.07	1.01	0.99	0.97	1.10	1.02

注:数値は、計算結果/実測結果。0.5以下(計算結果の方が50%低い)をグレーでハッチング、1.5以上(計算結果の方が50%高い)を太字・下線で示す。PM10濃度はSPM濃度から換算式⁶(PM10=SPM×1.07)によって算出した。

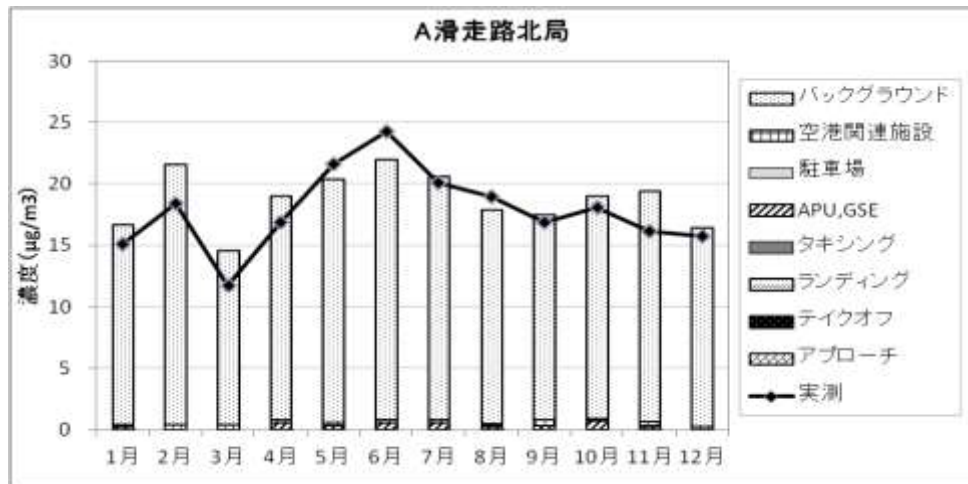


図 34 月平均濃度と計算結果の比較 (PM10、A 滑走路北局)

最後に、SO_xの比較結果を表 32、表 33 に示す。多くのモニタリング地点で計算結果の方が大幅に低い値となっているが、B 滑走路南局の冬季で計算結果の方が過大となった。B 滑走路南局における月別・発生源別の濃度分布を見ると、GSE 及び APU、航空機(メインエンジン)からの排出が大部分を占めており、秋季～冬季はバックグラウンド濃度を加算しなくても、これらの合計で実測値よりも高い濃度となった。

※ 計算結果は硫黄酸化物(SO_x)であるが、実測結果は二酸化硫黄(SO₂)である。

表 32 SO_x の計算結果と実測結果の比率(バックグラウンドなし)

測定局	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
A 滑走路北局	0.19	0.21	0.29	0.58	0.23	0.26	0.18	0.15	0.28	0.70	0.30	0.13
A 滑走路南局	0.20	0.27	0.25	0.25	0.07	0.09	0.02	0.10	0.13	0.55	0.72	0.52
B 滑走路北局	0.18	0.15	0.21	0.26	0.26	0.26	0.17	0.20	0.30	0.40	0.28	0.15
B 滑走路南局	0.73	0.82	0.58	0.77	0.57	0.50	0.51	0.28	1.22	2.13	1.99	1.29
東部局	0.21	0.17	0.13	0.22	0.14	0.10	0.13	0.06	0.41	0.14	0.49	0.29
西部局	0.29	0.43	0.92	0.64	0.34	0.34	0.18	0.44	0.66	0.81	0.87	0.45

注:数値は、計算結果/実測結果。0.5 以下(計算結果の方が 50%低い)をグレーでハッチング、1.5 以上(計算結果の方が 50%高い)を太字・下線で示す。

表 33 SO_x の計算結果と実測結果の比率(バックグラウンドあり)

測定局	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
A 滑走路北局	0.79	0.48	1.06	0.87	0.39	0.40	0.56	0.28	0.45	0.70	0.30	0.40
A 滑走路南局	0.88	0.56	0.63	0.38	0.21	0.19	0.49	0.22	0.28	0.55	0.72	0.80
B 滑走路北局	1.07	0.47	0.82	0.43	0.43	0.40	0.57	0.36	0.55	0.40	0.28	0.51
B 滑走路南局	1.52	1.14	1.07	0.96	0.78	0.68	1.20	0.48	1.72	2.13	1.99	1.70
東部局	0.75	0.42	0.51	0.34	0.30	0.26	0.61	0.23	0.74	0.14	0.49	0.60
西部局	0.83	0.65	1.88	0.99	0.49	0.46	0.62	0.57	0.80	0.81	0.87	0.74

注:数値は、計算結果/実測結果。0.5 以下(計算結果の方が 50%低い)をグレーでハッチング、1.5 以上(計算結果の方が 50%高い)を太字・下線で示す。

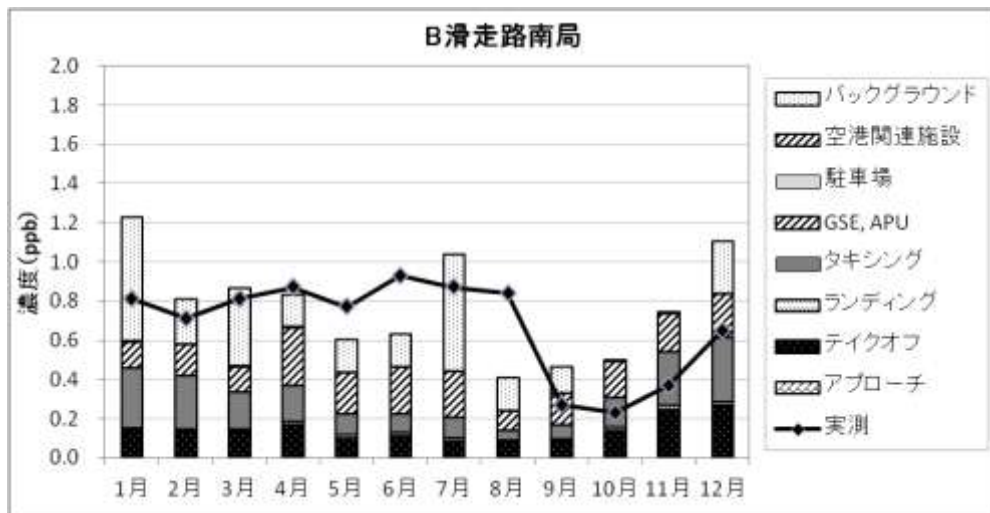


図 35 月平均濃度と実測結果の比較(SO_x、B 滑走路南局)

【主な知見のまとめ】

- ・ NO_x は、バックグラウンド濃度を考慮しない場合、秋季～冬季に実測値に比べて計算結果が顕著に低い値となった。 周辺の常時監視局測定値をバックグラウンド濃度として加算した場合、B 滑走路北局及び B 滑走路南局の全季節、西部局の夏季～秋季で過大となったが、その他の測定局では非常に良く一致した。モデルに設定していない発生源の影響は考慮する必要があり、周辺の常時監視局測定値を用いることで良く再現された。
- ・ CO 及び PM10 の計算結果は実測結果に比べて極端に濃度が小さく、80%近くをバックグラウンド濃度が占めることから空港関連の排ガスが周辺の大気環境に与える影響は非常に小さいことが示された。
- ・ SO_x の計算結果は、バックグラウンド濃度を加算しないと大部分の測定局で過小となった。一方、B 滑走路南局の計算結果は、秋季～冬季にかけて実測結果よりも大きく、バックグラウンド濃度を加算すると年間を通して大幅に過大となる。

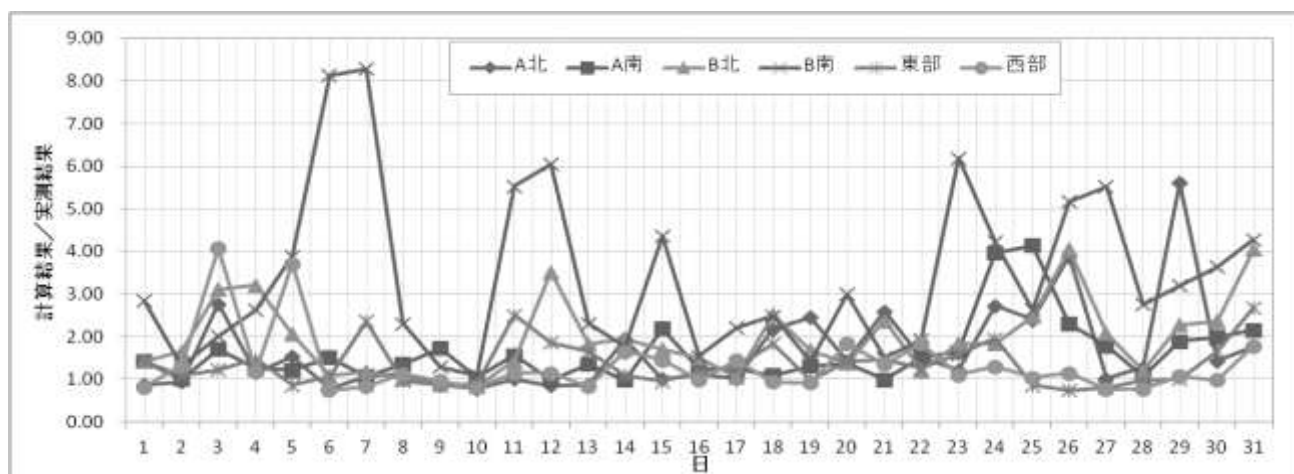
ウ) 季節別（月別）の再現性検証

前述したバックグラウンド濃度に関する分析結果より、計算の精度が季節によって大きく異なることが確認された。ここでは、季節ごとの特徴及び計算の精度に影響を与える要因を確認するため、夏季(7月)及び冬季(12月)を対象に詳細な分析を行った。物質はこれまでの検証結果より比較的精度よく再現されていたNO_xとした。

【夏季（7月）】

夏季の例として、7月を対象に計算精度の検証を行った。日別・モニタリング地点別の計算結果と実測結果の比の推移を図36に示す。多くのモニタリング地点は0.9～2倍の範囲で推移しており、計算結果は良く再現していると考えられるが、B滑走路南局では計算結果が大幅に過大になる日が数日見られた(5～7日、11日、12日、23日、26日、27日など)。この時の風況を見ると(表34)、2～5m/s程度の南寄り風が卓越している。また、B滑走路南局における発生源別の寄与率を見ると、ゲート(GSE、APU等)からの寄与が年平均よりも16%程高い値となっており(図37)、ゲートから発生した大気汚染物質が南よりの風によって移流したため高濃度になったと考えられる。その場合、ゲートからの排出が実際よりも過大である可能性が高い。

他方、北側に位置するモニタリング地点(A滑走路北局、B滑走路北局)で近い挙動を示しており、3日、18日、21日、25日、26日等は両地点ともに計算結果の方が高濃度となっている。



注: 数値は日平均値の計算結果/実測結果。数値が大きい程計算結果の方が大きいことを示す。

図36 各モニタリング地点における計算結果と実測結果の比(7月の日平均)

表34 計算に使用した風向・風速(7月)

	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日	11日
最多風向	東	北北東	南東	北北東	南東	南南東	南南西	南南西	南西	南西	東北東
平均風速	2.3	3.2	2.6	2.4	2	2.5	4.1	6	6.7	8.1	2.9
	12日	13日	14日	15日	16日	17日	18日	19日	20日	21日	22日
最多風向	南東	南西	東南東	南西	南東	南西	南南東	南西	東北東	北北東	南南西
平均風速	2.3	5.7	3.4	6.4	3.5	2.7	1.6	5	4.2	2.7	2.6
	23日	24日	25日	26日	27日	28日	29日	30日	31日		
最多風向	南南東	南南東	南南西	南南西	南	南南東	南	南	北北東		
平均風速	3.2	4.8	6	4.6	3.9	2.9	3.9	4.7	5.1		

注: 風速の単位は m/s。

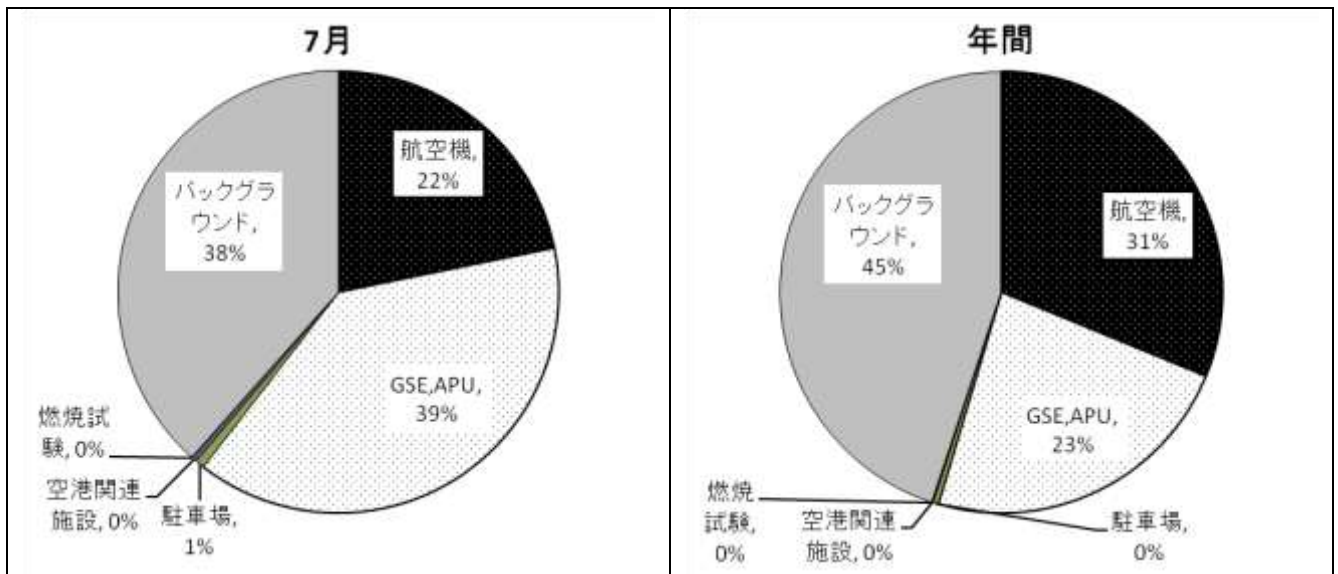
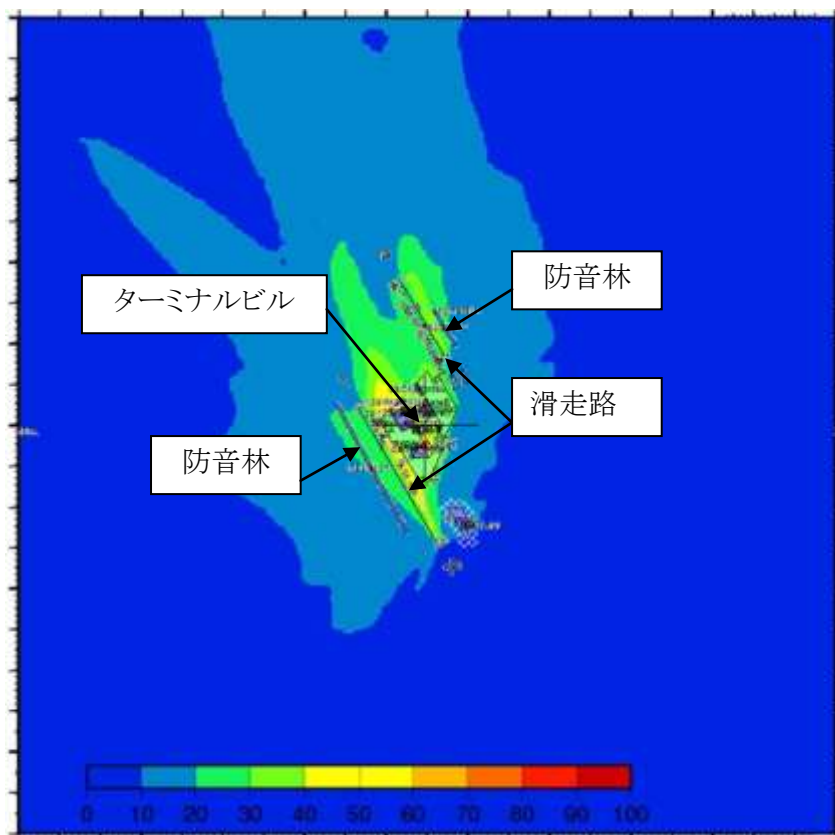


図 37 発生源別の寄与率(B 滑走路南局)

次に7月の空港周辺の月平均濃度分布を図 38 に示す。全体的に濃度が低く、空港内のみ比較的高濃度となっている。ターミナルビルの西側、A滑走路付近に40ppm以上の高濃度の分布が見られるが、防音林より西側にはあまり輸送されていない。また、南寄りの風が多く吹くことから(表 34)、空港の北～北東方向に移流している様子が見られる。



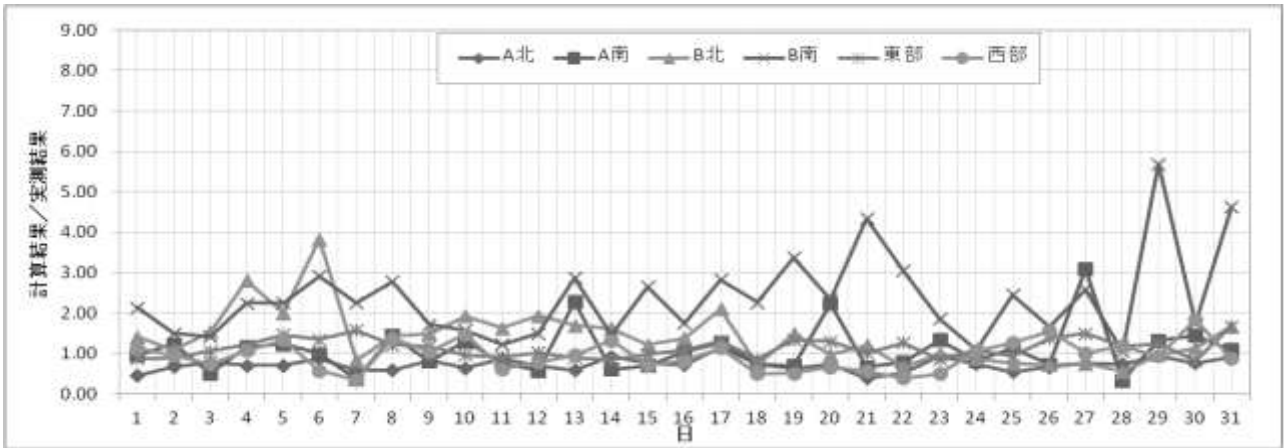
注:単位は ppb。範囲は空港第二ビルを中心に20km 四方。

図 38 空港周辺の月平均 NO_x 濃度分布 (7 月)

【冬季（12月）】

冬季の例として、12月を対象に分析を行った。日別・モニタリング地点別の計算結果と実測結果の比の推移を図39に示す。B滑走路南局で全体的に計算結果の方が高くなる傾向が見られるが、その他のモニタリング地点では、ほぼ同程度であり計算結果は非常に良く再現している。

表35に12月の風向・風速を示す。12月は他の月と比較して北西風が卓越することが多く、風向の日変化は少ない(図40)。



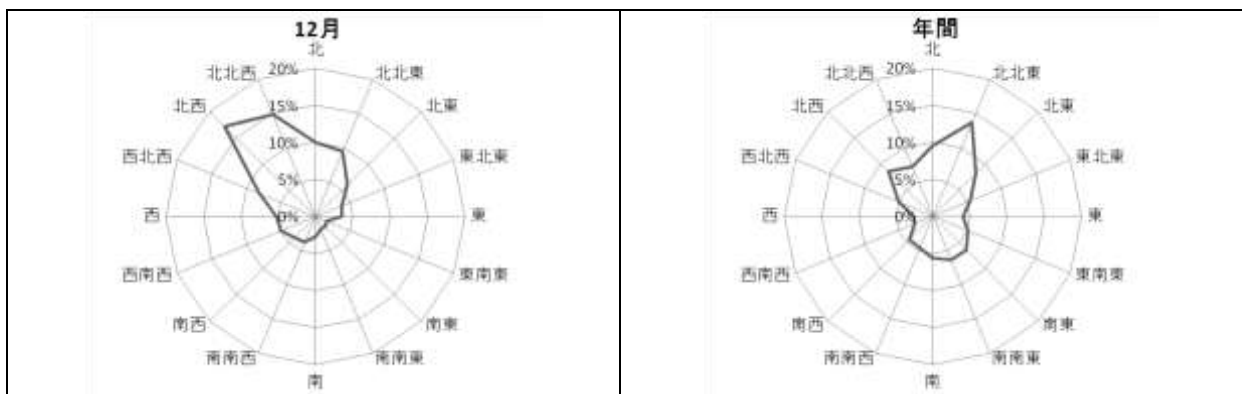
注: 数値は日平均値の計算結果/実測結果。数値が大きい程計算結果の方が大きいことを示す。

図39 各モニタリング地点における計算結果と実測結果の比(12月の日平均)

表35 計算に使用した風向・風速(12月)

	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日	11日
最多風向	北北東	北北西	北北西	北東	東	北北西	北西	北北東	北北西	北北東	北
平均風速	3	2	4.2	3.8	3.6	1.7	3.8	2.7	3.5	4.3	4.5
	12日	13日	14日	15日	16日	17日	18日	19日	20日	21日	22日
最多風向	4.3	3.1	3.3	1.6	2.7	2.9	4	2.4	2.3	4.4	1.6
平均風速	北北西	北北東	北北東	南	北	北	南西	西南西	西北西	北西	南西
	23日	24日	25日	26日	27日	28日	29日	30日	31日		
最多風向	2	2.3	3	2	2.6	3.7	2.4	3.5	3.8		
平均風速	北西	北北西	北北西	北西	東北東	北西	東北東	南南西	北西		

注: 風速の単位は m/s。

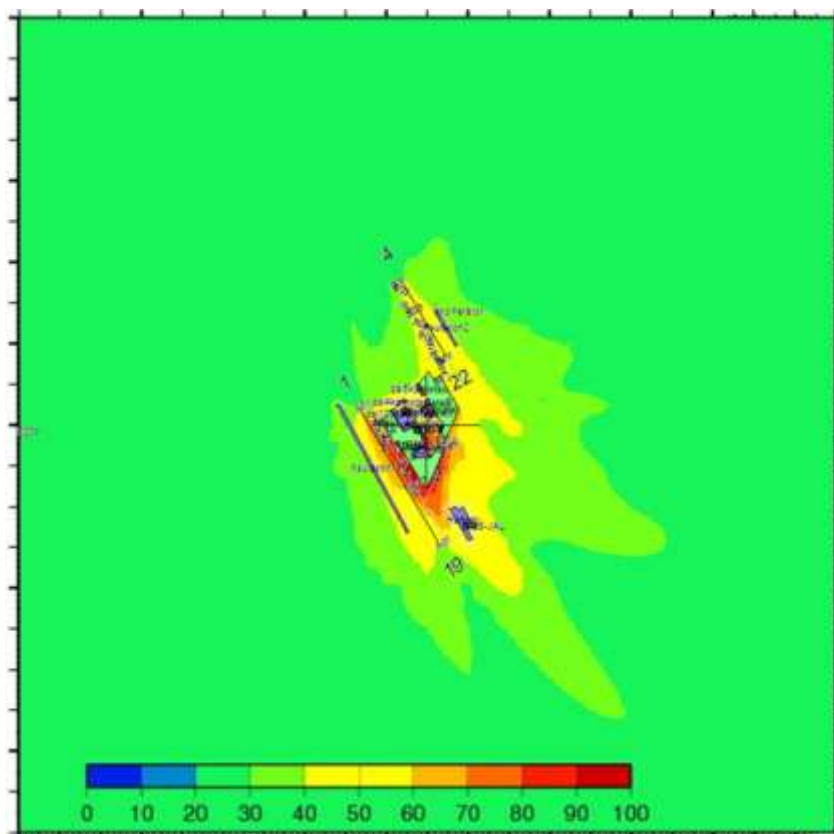


注: 1時間値から算出した。静穏は12月が0.8%、年間が0.5%。

図40 風配図(12月、年間)

次に、12月の空港周辺の月平均濃度分布を図41に示す。濃度は夏季よりも10~20ppb程度高く、北寄りの風が卓越することが多いため(図40)、風下側(南~東南東方向)に向かって顕著な移流が見られる。また、A滑走路方向のゲートで顕著に濃度が高く、80ppb以上となっている。

他方、夏季と同様に防音林によって汚染物質の西側への移流が抑えられている様子が見られた。



注:単位は ppb。範囲は空港第二ビルを中心に 20km 四方。

図 41 空港周辺の月平均 NO_x 濃度分布(12月)

【主な知見のまとめ】

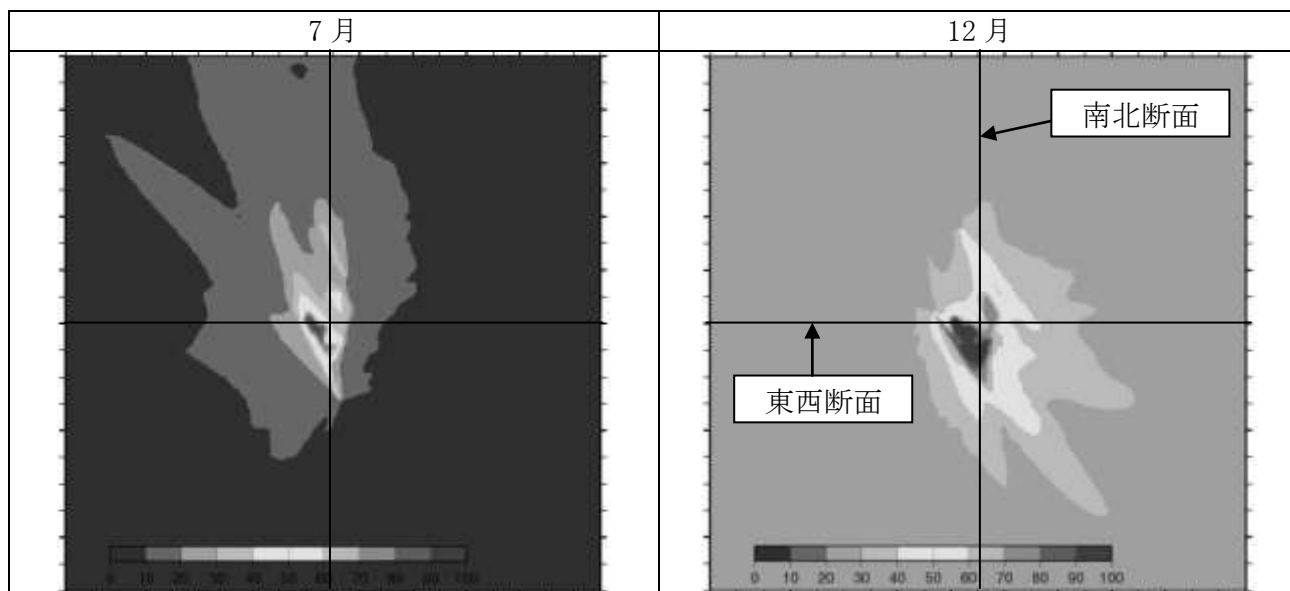
- ・ 夏季の例として7月、冬季の例として12月を対象にNO_xの日平均値を使用して再現性を検証した結果、ゲートに近いB滑走路南局を除いて計算結果と実測値は良く一致していた。夏季と冬季では、冬期の方が良く一致していた。
- ・ 空港周辺20km四方の濃度分布を見ると、南よりの風が卓越する夏季は北~北西方向、北よりの風が卓越する冬季は南~南南東方向の遠方まで移流する。
- ・ B滑走路南局における計算結果は、ゲート方向から風が吹く際に実測値よりも顕著に濃度が高くなる傾向があることから、ゲート(GSE、APUなど)からの排出が実態よりも過大となっている可能性がある。

1) 空港関連排ガスの寄与率及び影響範囲

ここでは、空港関連の排ガスの発生源毎の寄与率及び影響範囲に関する検証を行った。対象範囲は、ウ) 季節別の再現性検証結果より、季節によって各発生源の寄与及び濃度分布が大きく異なる結果になったことを踏まえ、ウ)と同様に夏季(7月)と冬季(12月)に分けて検討した。

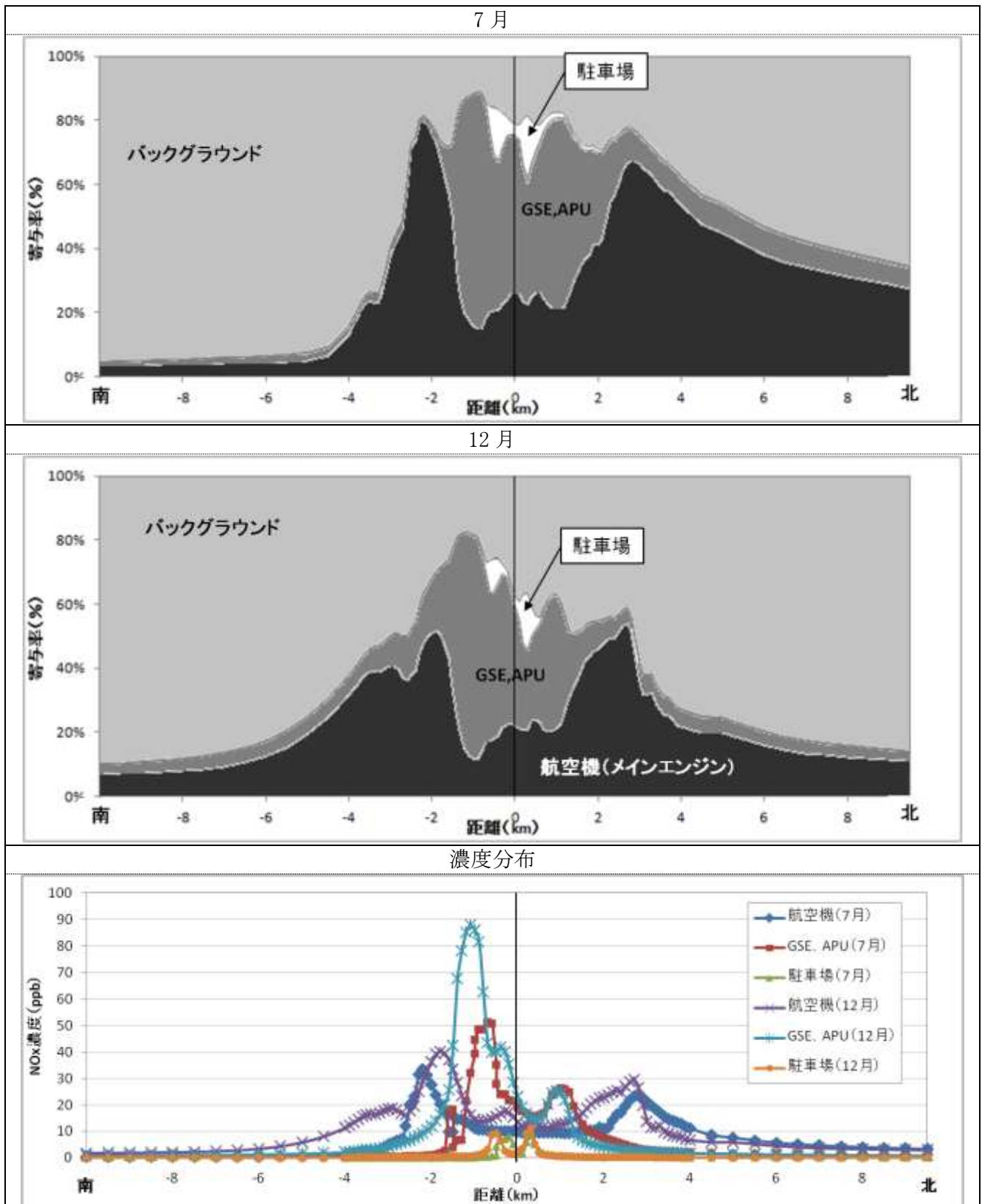
濃度及び寄与率の影響範囲の確認は、図 42 に示した南北断面及び東西断面を対象に行った。まず、南北断面について(図 43)、航空機(メインエンジン)の寄与率の顕著なピークが-2km 付近と3km 付近に見られる。これは、-2km 付近が A 滑走路、3km 付近が B 滑走路に対応していることによる。また、それらの間-2~3km 付近は GSE 及び APU(ゲートからの排出)の寄与が大きく夏季で約 70%、冬季で約 50%を占めており、月平均濃度も 50ppb に達している。寄与率はいずれの発生源も夏季の方が高く、A 滑走路との接点では航空機の寄与率が 80%以上、月平均濃度で約 90ppb と非常に高い値となっている。また、7月 は北側を中心に遠方まで大気汚染物質が輸送されており、10km 地点でも航空機の寄与率が 30%、濃度ベースで約 3ppb の寄与がある。冬季はバックグラウンド濃度が高いため空港関連排ガスの寄与率は夏季ほど高くはないが、南北 10km 地点に 1.5~3ppb 程度の影響を与えている。駐車場の寄与率は、直上(2 箇所)で約 10%を占めている。

次に、東西断面を見ると、いずれの季節においても A 滑走路に対応する-2km 付近に航空機寄与率のピークが見られる。GSE 及び APU の寄与率は、空港中央付近で非常に高く約 80%に達しているが、航空機排ガスと異なり 4km 以遠には殆ど輸送されていない。また、冬期の 2km 付近に見られる航空機寄与率のピークは、図 42 の月平均濃度分布を見る限り B 滑走路で排出された排ガスが南方に輸送されたことによるものと推察される。



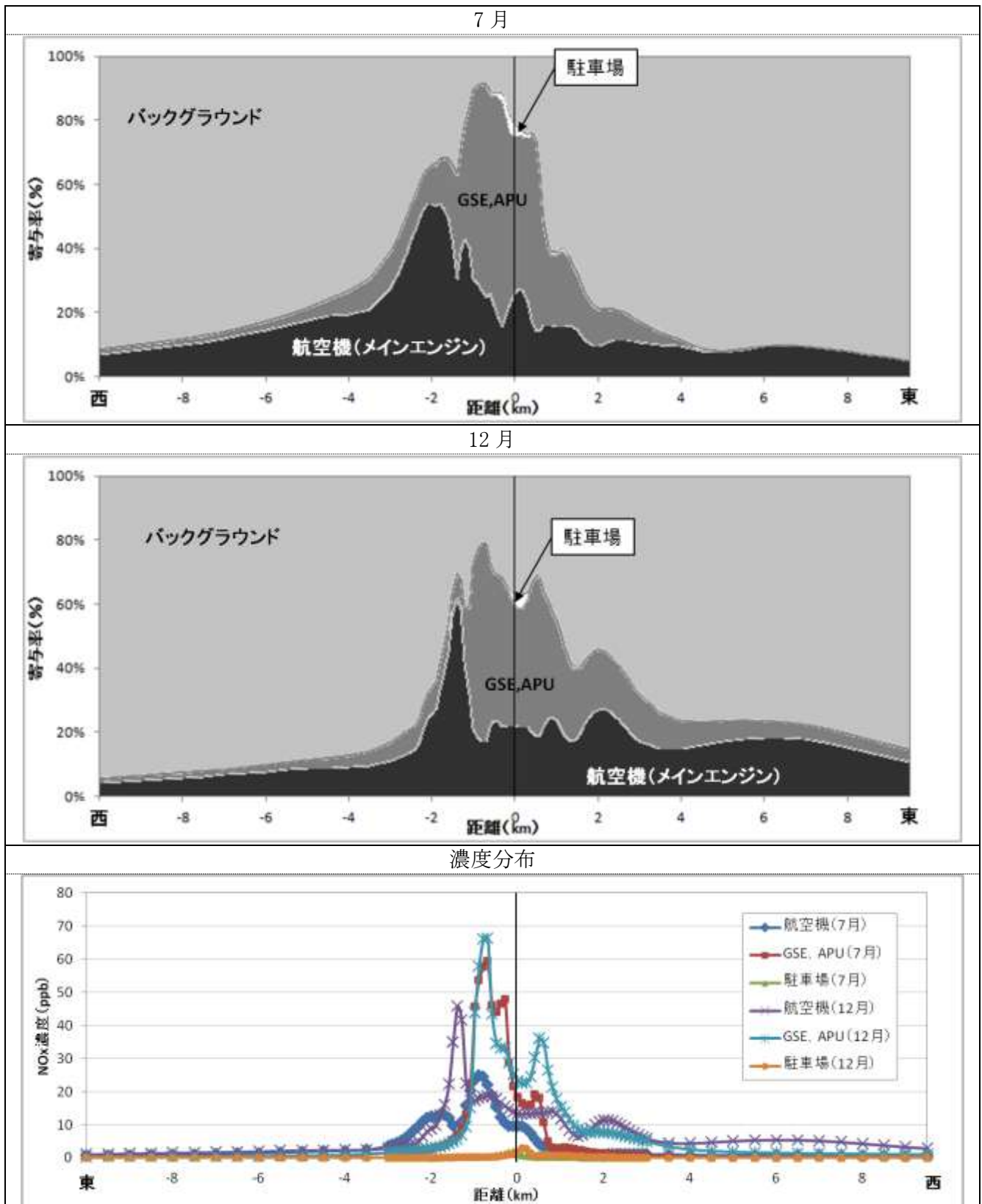
注:単位は ppb。範囲は 20km×20km。

図 42 7月及び12月の濃度分布(図 38 及び図 41 再掲、一部修正)



注: 空港関連施設及び燃焼試験による排出は、全地点において寄与率が1%に満たなかったため省略した。

図 43 寄与率及び濃度の南北断面



注: 空港関連施設及び燃焼試験による排出は、全地点において寄与率が1%に満たなかったため省略した。

図 44 寄与率及び濃度の東西断面

(参考)10km 以上の影響範囲について

7月の計算結果を見ると(図 42、図 43)、空港関連排ガスが計算領域(北側 10km)より遠方まで移流していることから、ここでは、より遠方(100km まで)への移流距離に関する試算結果を示す。対象期間はバックグラウンド濃度が低いため、空港関連排ガスの寄与率が高くなることから7月とした。また、7月は南寄りの風が卓越し、大気汚染物質が北に輸送されることから、空港第二ビルから北へ 100km まで(1km 間隔)とした。対象物質は NO_x とした。結果を図 45 に示す。GSE 及び APU よりも航空機(メインエンジン)からの排出の方が遠方まで輸送され、25km 付近で 10%、50km 付近で 5%程度の寄与がある。但し、この試算では 100km 先までバックグラウンドは一定の濃度としているが、実際は 100km の間に様々な発生源があることから実際の寄与率はより小さくなると予想される。

なお、濃度分布については、別添 3. に示した。

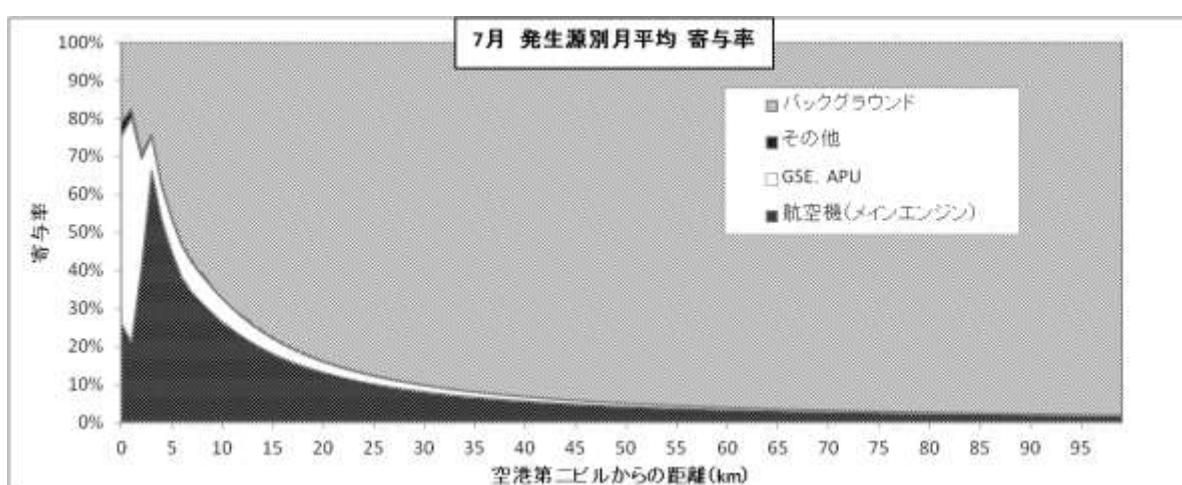


図 45 発生源別の寄与率(7月平均、空港第二ビルの北側 100km まで)

【主な知見のまとめ】

- ・ 発生源によって輸送される距離が異なり、駐車場(自動車)からの排出は数 100m 以内、GSE 及び APU(ゲート)からの排出は輸送距離が短く約 4km で数%以下となるが、航空機(メインエンジン)からの排出は季節における卓越風向の風下側約 10km 地点での寄与率が 30%を占めており、それより遠方まで輸送される可能性が高い。
- ・ 空港内では GSE 及び APU の占める割合が大きく、40~80%を占める。
- ・ 滑走路付近では航空機排ガスの寄与率が非常に高く、50~80%を占める。
- ・ 空港関連排ガスの寄与率は、バックグラウンド濃度が低いため冬季よりも夏季の方が大きい。

2.5 シミュレーション結果を踏まえた空港関連排ガスの評価手法の検討

成田国際空港を対象に空港関連排ガス専用のシミュレーションモデルである EDMS を用いて計算を行った。その結果、空港周辺のモニタリング地点における実測結果と計算結果は非常に良く一致し、EDMS によるシミュレーションが空港関連排ガスの影響評価に有効であることが示された。

これらの検証結果を踏まえ、他空港において空港関連排ガスの影響評価を行う際に考慮すべき事項を表 36、必要なデータを表 37 に示す。

表 36 空港関連排ガスの影響評価において考慮すべき事項

項目	必須	あると望ましい	備考
期間	1 年間	—	季節によって再現性や影響範囲が異なるため、最短でも 1 年間は計算する必要がある。
計算領域	30km 四方	—	成田国際空港での計算結果より航空機からの排ガスは遠方まで輸送されることが示された。
メッシュ	500m	100m	空港内の分布を把握するためには 100m メッシュで計算することが望ましい。
物質	NO _x 、SO _x (SO ₂)	PM10、CO	PM10 及び CO はバックグラウンドに対して、空港関連排ガスの寄与が微小。
時間分解能	日平均以上	1 時間値	計算結果の再現性を確認するためには、少なくとも日平均値が必要。
排出源	<ul style="list-style-type: none"> ・航空機 ・APU ・GSE ・自動車 ・駐車場 	<ul style="list-style-type: none"> ・空港関連施設(燃焼施設) ・エンジン燃焼試験 	ボイラー棟等の空港関連施設からの排出は発生源の高さが高いこともあり、濃度に殆ど影響を与えなかった。エンジン燃焼試験も同様。但し、排出量は大きいいため、必要に応じて設定することが望ましい。駐車場は、周辺の常時監視局測定値を用いることで代用可能。

表 37 計算に必要なデータリスト

データ	備考
航空機の機種別離着陸回数	
GSE の車種別活動量	空港、エアラインによって異なる。
GSE 排出係数	今年度調査では米国のデータを用いて計算を行ったが、計算結果が実測よりも過大となっているため、適切な値を設定することが望ましい。
空港周辺の主要道路の交通量	常時監視局測定値で代用できるようであれば不要。
常時監視局測定値	バックグラウンド濃度として使用する場合
各種気象データ	

第3章 船舶排出ガスに関する調査

3.1 今年度調査の概要

今年度調査では、船舶航行に伴う排ガスが周辺の大気環境に与える影響を把握するため、観音崎公園における実測を中心とした調査を実施した。調査の概要を表 38 に示す。

表 38 平成 24 年度調査の概要

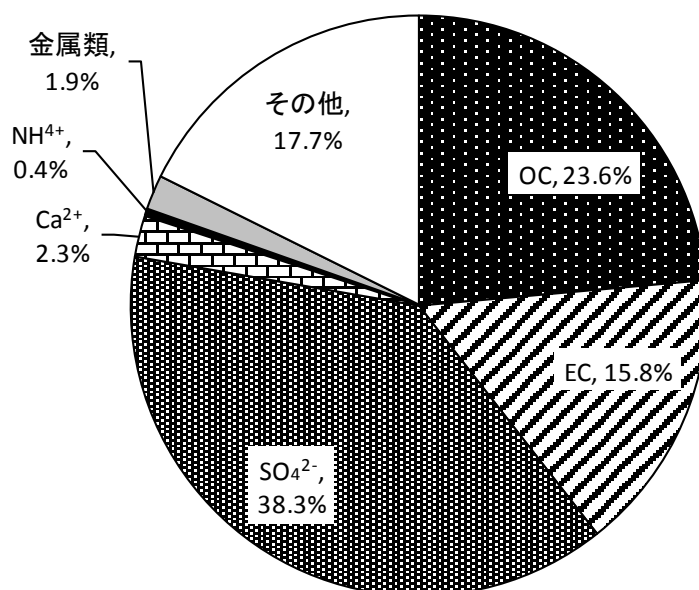
調査項目	調査内容
既存の知見の整理 ⇒ 3.2	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実測調査を実施するにあたり、既存の船舶排ガスに関する文献の調査を行った。 <ul style="list-style-type: none"> － 船舶排ガスの成分分析結果に関する事例、東アジア域／関東域でのシミュレーション事例を調査し、得られた知見を実測調査にフィードバックした。
調査項目、地点等の検討 ⇒ 3.3	<ul style="list-style-type: none"> ・ 今年度調査の目的は、航行中の船舶排ガスの影響を把握すること。 ・ 実測地点及び調査期間を決定した。 <ul style="list-style-type: none"> － 航路（東京湾 浦賀水路）からの距離が近く、周辺に顕著な排出源がないことから観音崎公園を選定。 － 海側の風（南風）が卓越する夏季に実施。 ・ 測定対象物質を決定した。 <ul style="list-style-type: none"> － NO、NO₂、SO₂、PM2.5 に加え、Sulfate（PM2.5 中の硫黄分を測定するため）。
実測調査 (8/25(土)～9/9(日)、16 日間) ⇒ 3.3.2 ①	
実測結果の分析 ① 環境基準との比較 ⇒ 3.3.2 ② イ) ② 実測地点における実測期間中の大気環境の把握 ⇒ 3.3.2 ② ウ) ③ 周辺の常時監視局との比較 ⇒ 3.3.2 ② エ) ④ 風向別濃度分析 ⇒ 3.3.2 ② オ) ⑤ 大型船入航予定情報の分析 ⇒ 3.3.2 ② カ) ⑥ ケーススタディの実施 ⇒ 3.3.2 ② キ)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実測結果を環境基準と比較した結果、航行中の船舶排ガスの影響は極めて限定的であると判明した。 ・ 実測地点における実測値が大きくなるのは、①航路方向からの風向きが卓越するとき、②実測地点付近の船舶の航行量が多いとき、と判明した。 ・ 測定期間中の毎時平均値を算出して、各物質の時間変化の傾向を確認した（別添資料に基づき各物質濃度のピークと推定される要因を説明。NO、NO₂、SO₂、PM2.5、Sulfate） ・ 第 2 回検討会で得た知見（実測地点における大気汚染物質濃度の増加と①風向き及び②船舶の航行量が相関する）の妥当性について、特徴的な濃度変化が観測された測定日を対象に、ケーススタディを実施し、濃度変化の要因を調査した。

3.2 船舶排出ガスによる大気環境影響に関する先行事例調査

ここでは、船舶排出ガスの成分調査及び大気環境への影響評価を行った先行調査に関する情報収集を行った結果を示す。また、先行事例調査結果を踏まえ、航行中の船舶排出ガスを対象とした実測調査を実施するにあたり、考慮すべき事項をとりまとめた。

3.2.1 船舶排出ガスの成分

OPRF (2007)¹²では、港内に停泊中の外航コンテナ船を対象に、補助ディーゼルエンジン(補機)運転時の排出ガス中のPMを煙突口にて採取し、成分分析を行っている。船舶は停泊時に船内の電源を確保するため、補助ディーゼルエンジンを有しており、その排出量は湾内航行時と同規模と考えられている。分析結果(構成比, 重量%)を見ると、 SO_4^{2-} (硫酸イオン)が最も多く、次いでOC(Organic Carbon;有機炭素)、EC(Elemental Carbon;元素状炭素)などの炭素成分が多く占めている。



注:脚注 13 の数値を基に作図。平成 18 年 8 月 22 日にサンプリング結果に基づく。

図 46 補機排出ガス中のPM2.5成分

同様の調査が、東京都(2011)¹³においても実施されており、OPRF の調査結果と同様に SO_4^{2-} 、OC、EC が多く、わずかに NH_4^+ が含まれている(図 47)。

なお、両者の違いは、サンプリングを行なった船の種類が異なることによるものと考えられる。

¹² 平成 18 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, 海洋政策研究財団(OPRF), 2007.

¹³ 第 7 回 東京都微小粒子状物質検討会報告書資料集, 東京都, 2011.

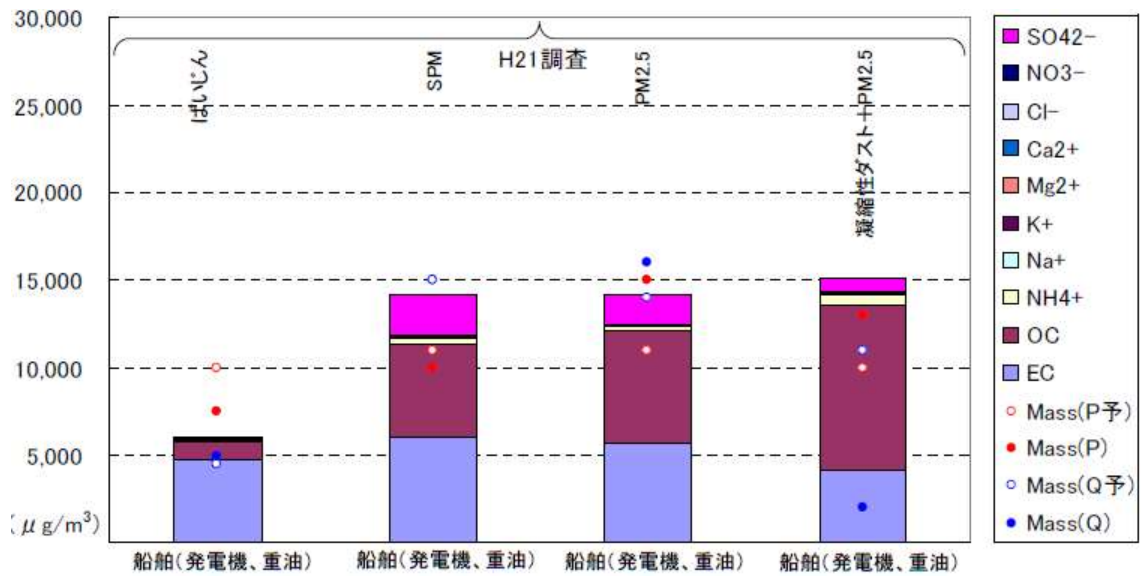


図 47 船舶排出ガス中の炭素・イオン成分¹³⁾

一方、停泊中の船舶排出ガスが周辺の大気環境に与える影響について、OPRF(2008)¹⁴⁾では、東京港にPM2.5計及びサルフェートモニターを設置して夏季に連続7日間(2007年7月25日～8月1日)実測調査を行っている。文献中に記されている主な結果と考察を以下に示す。

表 39 主な結果とその考察

主な結果	考察
<ul style="list-style-type: none"> SO₂濃度は、排出ガスの局所的な影響が測定により示唆されたが、PMについては明確でなかった。 	<ul style="list-style-type: none"> SO₂は発生源付近に影響を与えるが、二次粒子を含むPMは、二次生成が進むまでに時間を要する。 SO₂はバックグラウンド濃度が低くて安定しているが、PMはバックグラウンド濃度が高く広域大気汚染の影響を受ける。 SO₂に対して一次粒子の排出量が小さい。
<ul style="list-style-type: none"> SPMとPM2.5、SPMと粗大粒子には強い相関、PM2.5とSO₄に弱い相関が見られたが、SO₂とSO₄はほとんど相関が見られなかった。 	
<ul style="list-style-type: none"> 風速が弱い場合に全体的に高濃度になる傾向が見られた。 	<ul style="list-style-type: none"> 風が弱い場合、汚染物質が滞留して濃度が高くなった。

注: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(OPRF), 2008. に基づいて作成。

¹⁴⁾ 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(OPRF), 2008.

3.2.2 東アジア域におけるシミュレーション事例

OPRF(2008)¹⁴では、東アジア域を航行する船舶排出ガスに起因するPMの影響を把握するため、RAMS / CMAQ 連携システムを用いてシミュレーションを実施し、船舶からガスとして排出された NO_x、SO_x が大気中で化学反応により粒子化した二次粒子の挙動を示している。

計算領域は、日本近海の主要航路を含む約 2000km×500km(80km メッシュ)の領域を対象としている。解析期間は、夏季(2000年8月16～31日)、冬季(2000年1月16～31日)の2通り実施している。解析結果の概略を以下に示す。

SO_xの距離帯別の大気中濃度(図48)によると、ガス状のSO₂濃度は航路帯から100km以上離れると著しく低下しており、SO₄粒子よりも影響範囲が狭い。これは、航路帯から排出されたSO₂は、大気中の化学反応によりSO₄粒子に変換されて遠方まで輸送されることによるものと考えられる。また、SO₄粒子の濃度は、冬季よりも夏季の方が顕著に高濃度となった。

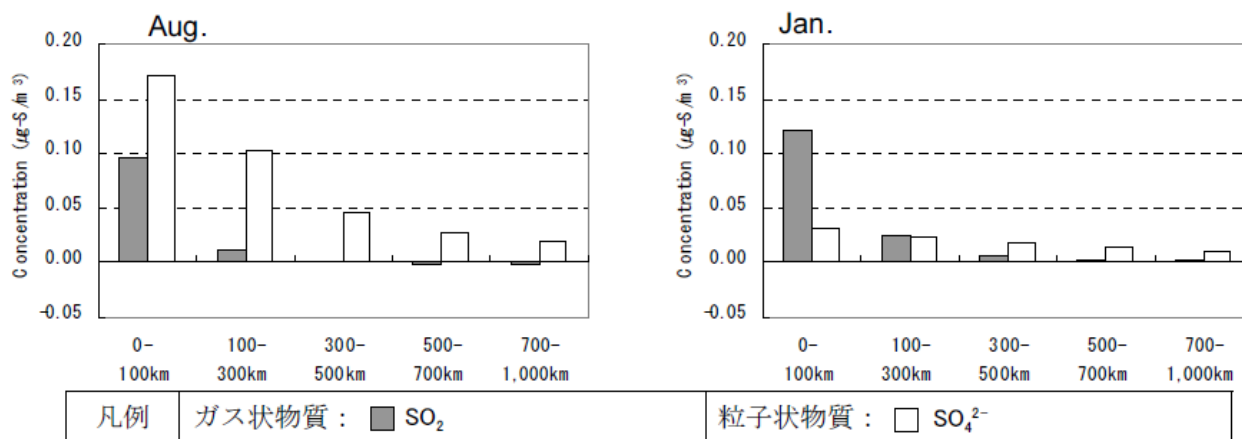


図 48 SO_xの距離帯別の大気中濃度(最下層)¹⁴

3.2.3 関東地方におけるシミュレーション事例

OPRF(2008)¹⁴では、上述した東アジア域でのシミュレーションに加え、関東地方(東京湾)を対象としたシミュレーション結果についても示している。シミュレーションモデルは、CMAQ をベースとした電力中央研究所にて開発された大気中二次粒子の濃度予測モデルを用いている。計算領域は、関東地方の約 230km×290km であり、メッシュは 6km である。計算ケースは、2000 年度ベースの排出量を用いて 1 年間実施している。船舶排出量のデータは、港湾統計年報等を用いて算出しており、船舶排出量のあり、なしの二通り計算して、その差から船舶排出ガスの影響を評価している。

図 49 に SO₂ 及び SO₄ 粒子の夏季(8 月)、冬季(12 月)の月平均濃度分布を示す。SO₂ 濃度は、浦賀水道にピークが見られ、冬季に比べ夏季の方が高濃度である。これは、冬季は強い北寄りの風によって南方へ拡散されやすいのに対して、夏季は風が弱く、加えて海陸風や局地風循環などにより東京湾上空に大気汚染塊が定常的に発生しやすい状況を再現していると考えられる。

一方、SO₄ 粒子は、SO₂ に比べて船舶の寄与が小さい。季節による違いを見ると、冬季の方が若干高くなっているが、これは、夏季の船舶以外の SO₄ 濃度が冬季に比べて著しく高いため、寄与率としてみた場合に低くなっていることによる。

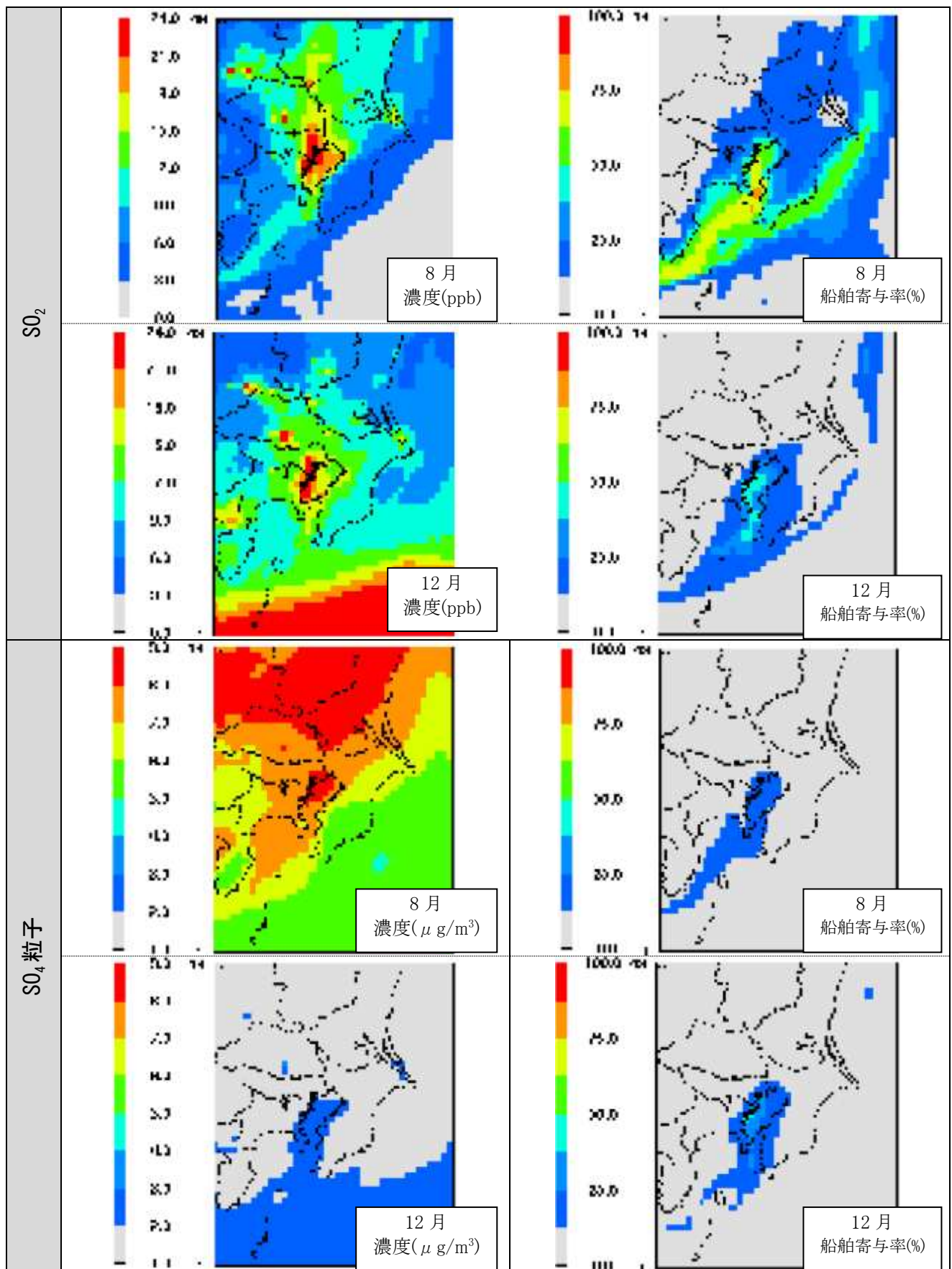


図 49 SO₂ 及び SO₄ 粒子の平均濃度分布及び船舶寄与率(%)¹⁴⁾※一部抜粋、加筆

3.2.4 実測調査へのフィードバック

文献調査の主な知見を踏まえて本実測調査を行う際に考慮すべき事項を表 40 に示す。

表 40 主な知見と実測調査へのフィードバック

主 な 知 見	実測調査へのフィードバック
<ul style="list-style-type: none"> ・ 船舶起源の SO_2 濃度は、航路帯から 100km 以上離れた地点では、無視しうる。 ・ 船舶起源の SO_x は、発生源近傍で 23～31%沈着している。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 実測地点は、測定候補地点周辺の主要な航路から 100km 以内に設置する。
<ul style="list-style-type: none"> ・ 航路帯から排出された SO_2 は、SO_4 粒子に変換されて遠方まで輸送される可能性がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 調査対象物質としてサルフェートモニター等により SO_4 を測定することが望ましい。
<ul style="list-style-type: none"> ・ 航路近傍の SO_x 濃度は、冬季と比較して夏季の方が高い。特に SO_4 濃度に顕著な差がある。 ・ 夏季は湿性沈着により 1000km の範囲内にはほとんど沈着することが期待されるが、冬季は湿性沈着による効果は期待できず、遠方まで輸送される。 ・ 冬季は北風が卓越し、南方に流される。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 関東地方にて実測調査を行う場合、実測時期は夏季が適している。

3.3 船舶航行に伴う排出ガスに関する実態調査

本調査では、船舶の航行により生じる排ガスが、周辺の大気環境に与える影響を把握するため、神奈川県の観音崎公園にて実測調査を実施した。詳細を以下に示す。

3.3.1 実測地点選定のためのデータ分析

① 地点の選定

船舶排出ガスの影響を捉えるのに適した実測地点および、実施時期を選定するためには、排出量分布、大気汚染物質の濃度分布、気象状況等を考慮することが望ましい。ここでは、昨年度の検討結果を踏まえ、船舶航行量が最も多い東京湾周辺を対象に前述したデータを解析し、その結果に基づき選定した候補地点等を示す。

実測候補地域の選定にあたっては、特に以下の点を考慮した。

- (ア) 実測地点の周辺に発電所や工場、廃棄物処分場などの顕著な排出源がない
- (イ) 排出源(主要な船舶航行路)からの距離が近い

まず、(ア)の項目について、EAGrid2000-Japan¹⁵の排出量データを使用し、陸上のSO₂発生源の分布を確認した(図50(a)参照)。その結果、図50(a)中の青丸で示した地域は、陸上の排出源の影響を受ける可能性が高く、実測地点としては不適切と考えられる。次に、(イ)の項目を確認するため、海洋政策研究財団(OPRF)にて作成された船舶航行に伴うSO₂排出量データ¹⁶を使用した(図50(b))。このデータは、船舶に搭載されたAIS¹⁷の航行記録を基に作成されているため、実際の航行状況を正確に反映した排出量分布である。これによると、東京湾では図50(b)の緑丸で示した神奈川県三浦半島先端部(観音崎)東側の浦賀水道で最大排出量であり、陸地と船舶航行路の距離も近い。図50(a)の結果も考慮すると、観音崎付近が実測地点として適していると考えられる。

また、この付近では、の図51に示す常時監視局測定値によると、SO₂濃度が比較的高く、船舶排出ガスの影響を受けている可能性が高い。

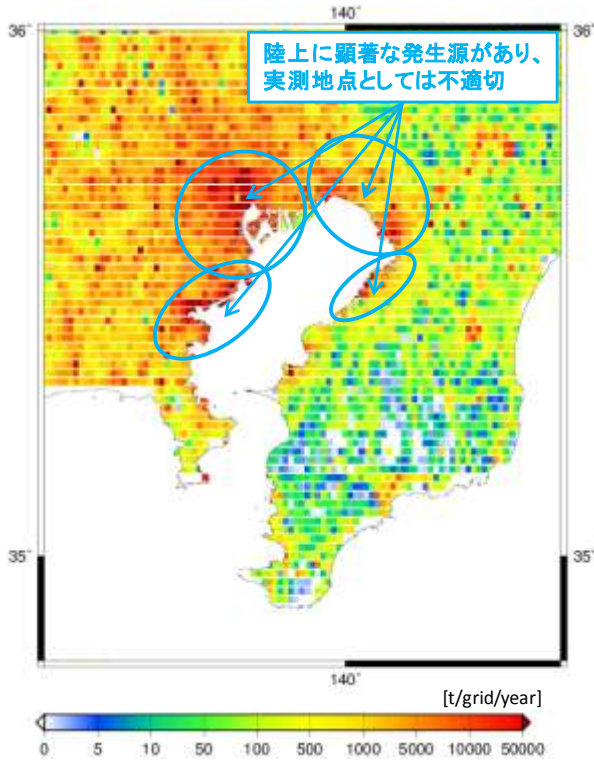
以上の結果から、本調査では、神奈川県三浦半島先端部に実測地点を設置することとする。

¹⁵ EAGrid2000-Japan 国立環境研究所、埼玉大学、財団法人計量計画研究所が開発した日本全国における排出量データ。

¹⁶ ポ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による。

¹⁷ AIS:Automatic Identification System(船舶自動識別装置) 船舶の位置、進路、速度等の情報を自動で送受信する装置。

(a) EAGrid2000-Japan 排出量データ(2000年)



(b) 船舶排出量データ(水曜日、12時)

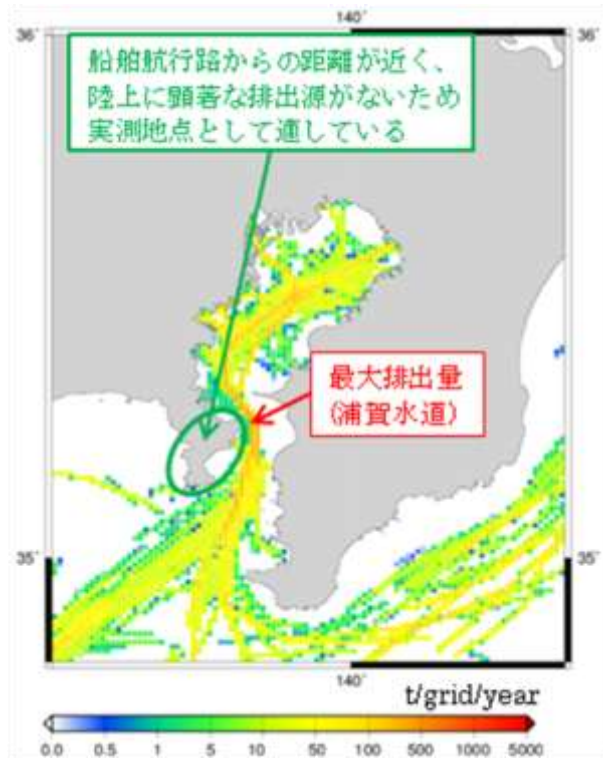
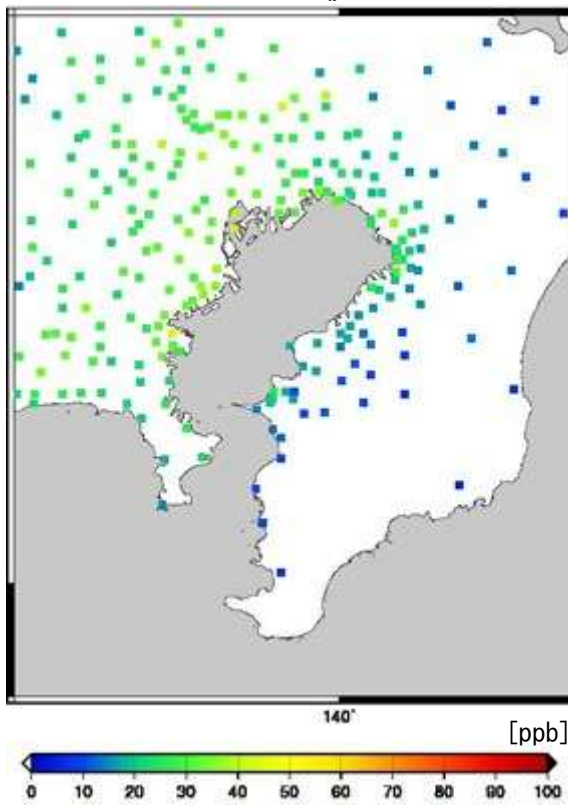


図 50 (a)陸上の SO₂ 排出源分布、(b)航行中の船舶による SO₂ 排出量

(a) NO_x



(b) SO₂

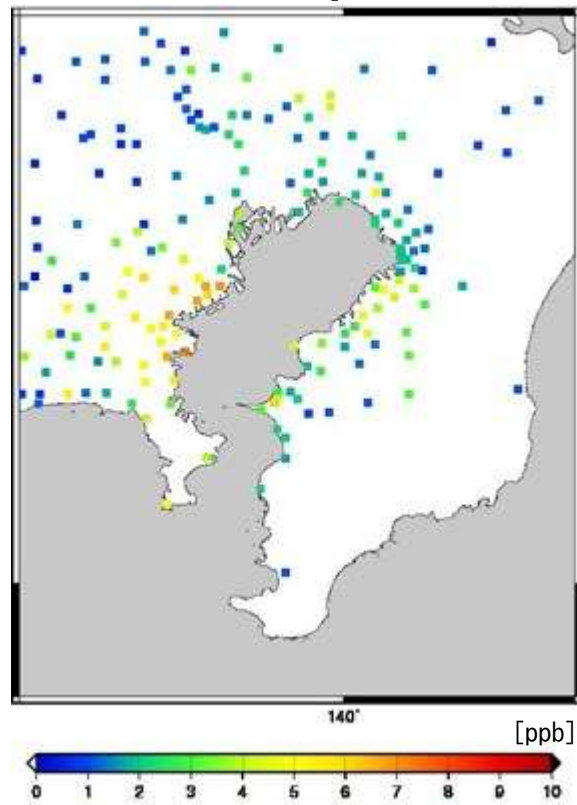


図 51 東京湾周辺の大気環境(2008年の年平均濃度、一般局のみ)

② 調査時期の選定

実施時期は、風上側に船舶以外の顕著な排出源が無い季節を選定する必要がある。前述した候補地点（三浦半島先端）にて実測を行う場合、北～北東方向に工場や発電所などの大規模な排出源が分布しているのに対して、南側は船舶以外の排出源は無いため、南西から南東の風が卓越する季節に実施する必要がある。ここでは、実測地点周辺の風況を確認するため、2011年の AMeDAS 風データを用いて解析を行った。

実測地点に近い AMeDAS「三浦」における季節別の風向別発生頻度を図 52 に示す。この結果によると、南よりの風（航路から測定地点に吹く風）が卓越する夏季に調査を行うことが最も適していると考えられる。

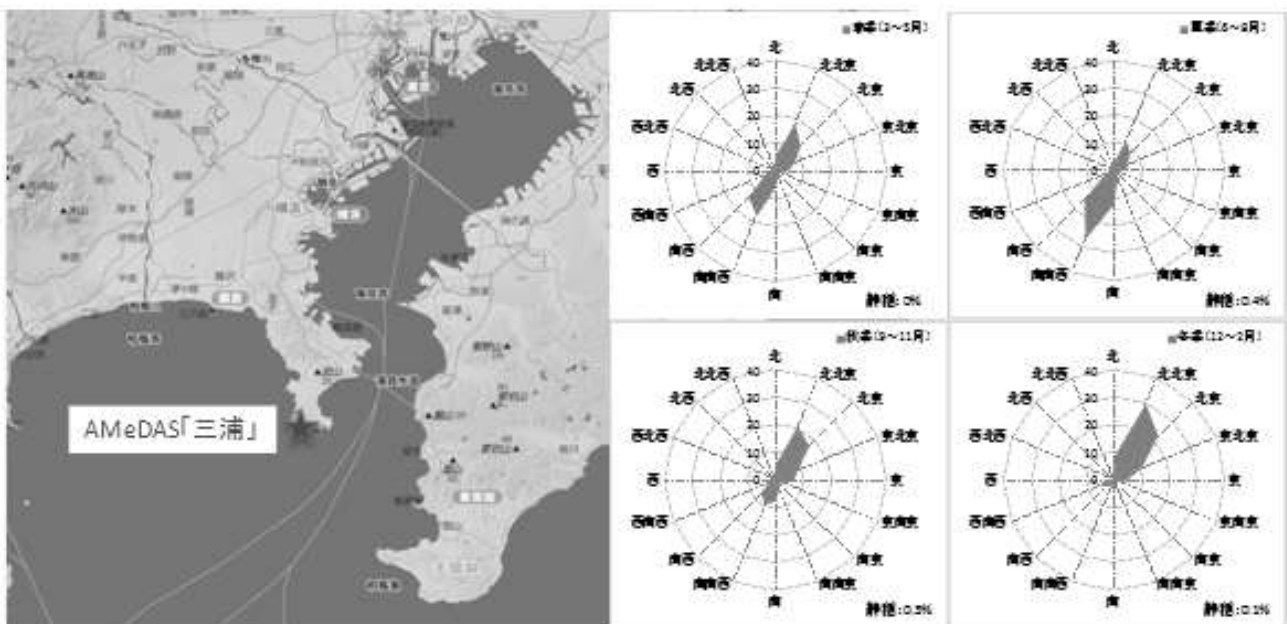


図 52 AMeDAS 三浦における 2011 年季節別の風向別発生頻度

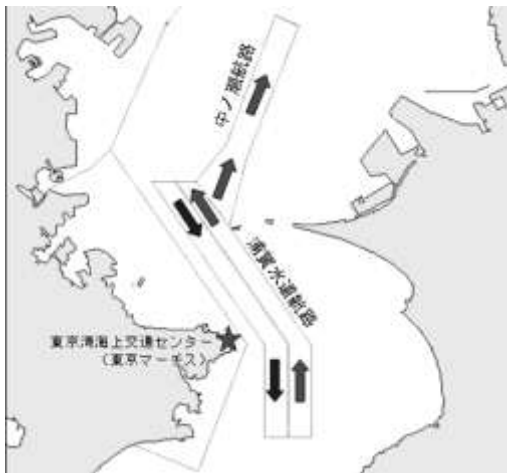
③ その他実測調査にあたり考慮すべき事項

ア) 東京湾の航行ルール

船舶航行量の多い東京湾では、船舶交通の安全を図るため海上交通安全法の規定により「浦賀水道航路」と「中ノ瀬航路」の 2 つの航路が設定されている。長さが 50m 以上の船舶は、航路を航行する義務があり、それ以下の船に航行義務はないが交通ルールは守る必要がある（図 53 左）。また、浦賀水道航路及び中ノ瀬航路の全区間においては、速力制限があり、12 ノット（約 22km/h）以下とされている。

上記航路を通過する 160m 以上の船舶または、総トン数 2.5 万トン以上の液化ガス積載船は前日正午までに船名や航行区間などの航行情報を事前に申請する必要がある、これらの情報は東京湾海上交通センターのホームページ¹⁸より得ることができる（図 53 右）。

¹⁸ 東京湾海上交通センター 大型船入港予定情報 <http://www6.kaiho.mlit.go.jp/tokyowan/schedule/scheduleindex.htm>



大型船入港予定情報

目付2012年 06月 20日 取得日数:1日分で検索した結果は次のとおりです。
この情報は、予定が変更になることがありますので、ご注意ください。
運賃水通航路の表口入航予定船(北風航) 3隻

入航予定時刻(目付/時)	船名	船種	総トン数	全長	機関	目的地(入航航路)	中ノ環状路	バードト
06/21/08	DEKAW CRUISE	観光船	1000	100	FAW	横浜(横浜航路)	通過	有

運賃水通航路の表口入航予定船(南風航) 13隻

入航予定時刻(目付/時)	船名	船種	総トン数	全長	機関	目的地(入航航路)	中ノ環状路	バードト
06/21/08	APACHE MARINER	貨物船	14000	180	FAW	横浜(横浜航路)	通過	有
06/21/08	PRODIGE ACE	自動車運搬船	3700	100	DAI	横浜(横浜航路)	通過	有
06/21/08	WESTWOOD OIL TANKER	コンテナ船	3200	100	DAI	東京(東京航路)	通過	有
06/21/08	SOUTH ISLANDER	貨物船	1000	100	FAW	横浜(横浜航路)	通過	有

図 53 左:東京湾の交通ルール¹⁹、右:大型船入港予定情報

1) 三宅島の影響

測定候補地点の南側約 100km には三宅島があり、現在でも噴火が続いている。気象庁の調査結果(図 54)によると、SO₂ 排出量は約 1000 トン/日と大きく風向きによっては影響を受ける可能性がある。

一方、本実測調査は、10 分間隔の測定を予定しており、船舶排ガスの影響がシャープなピークとして検出される可能性が高いため、これらの影響を区別できると考えられる。

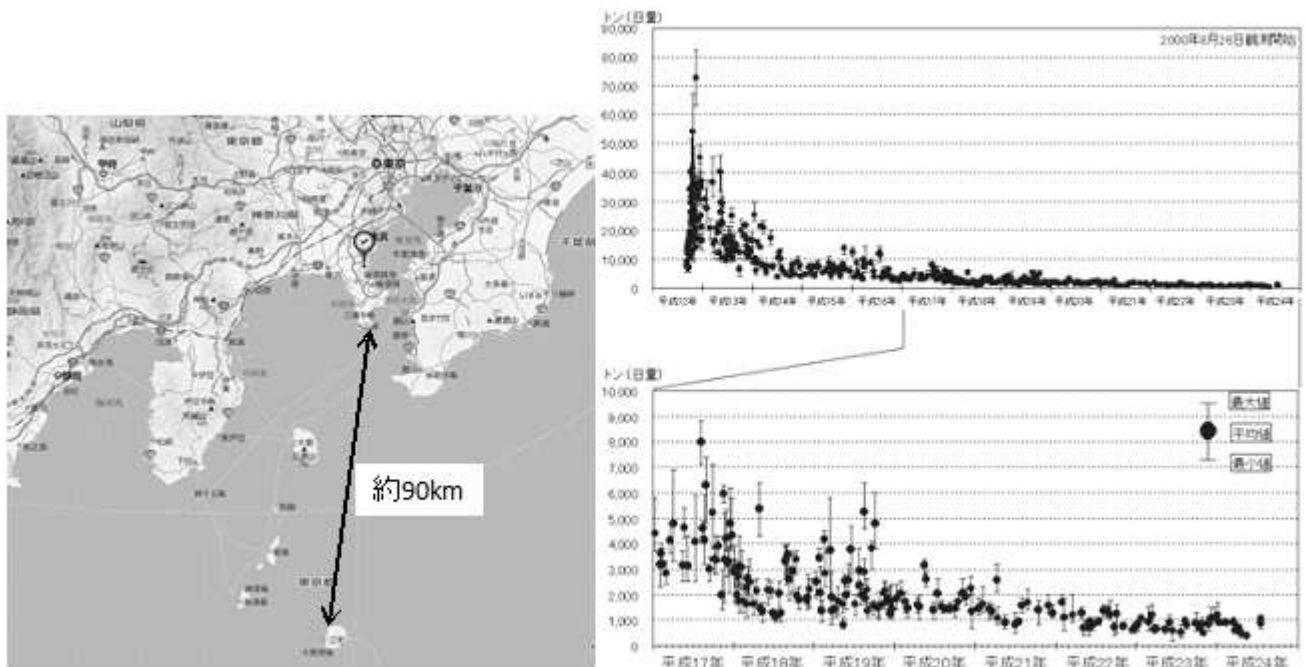


図 54 三宅島火山ガス(SO₂) 放出量²⁰

¹⁹ 東京湾海上交通センター 東京湾の交通ルール <http://www6.kaiho.mlit.go.jp/tokyowan/>

²⁰ 気象庁 HP http://www.seisvol.kishou.go.jp/tokyo/320_Miyakejima/320_So2emission.htm

④ 実測調査項目に対する委員指摘事項と対応

前述した実測調査項目は、第1回検討委員会の議題として提示して専門委員の意見を伺った。主な指摘事項と対応状況は表 41 に示すとおり。

表 41 第一回検討委員会における指摘事項と対応状況

委員指摘事項	対応状況
① <ul style="list-style-type: none"> ・ 燃料中の硫黄分は給油地によって異なり、低硫黄燃料もあるので、NO₂ の測定値を参考にして SO₂ 濃度をみるのが良い 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 今回の調査では、特定の物質に限定せず、実測を行った全物質を対象に分析を行った。
② <ul style="list-style-type: none"> ・ 理想としては、シミュレーションを行い、船の影響が出そうなルートで航行してもらうのが最も良い。この海域は指定航路ではないので、船舶に実測地点の近くを通ってもらうのが良いかもしれない。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 当社から特定の船舶にルートを指定し、航行してもらうことは難しい。また、航行ルートを指定できたとしても、その時間に必ずしも適切な風が吹くとは限らないため、対応は保留とする。
③ <ul style="list-style-type: none"> ・ 航路はあらかじめ決まっているため、主要な船会社について通る船を事前に確認しておくが良い。 ・ 船会社の情報を得るのであれば、日本船主協会が協力してくれるかもしれない。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 今回の調査では、「東京湾大型船舶航行予定」、「船舶ライブマップ」を基に船舶の航行状況を把握した。 ➤ 船舶ライブマップの活用により高時間分解能での船の位置を把握することができた。 ➤ また、実測地点にビデオカメラを設置し、航行状況を確認した。

3.3.2 観音崎公園における実測調査

本調査では船舶運航に伴う排出ガスが周辺の大気環境に与える影響の評価するため、航路帯からの距離が近く、船舶航行量の多い神奈川県横須賀市の観音崎(県立観音崎公園ビジターセンター脇)にて大気汚染物質の実測調査を実施した。

① 調査概要

ア) 調査期間

観音崎は北～北西方向に工場や発電所等の発生源があるが、南よりの方角には船舶以外の顕著な排出源はない。したがって、本調査では南よりの風が卓越する夏季に実測調査を行った。

【調査期間】2012 / 8 / 25(土)～ 2012 / 9 / 9(日) 16日間

イ) 実測地点及び大気汚染物質のモニタリング地点

本調査における実測地点と周辺の常時監視局の配置を図 55 に示す。本調査では、周辺の常時監視局のうち実測地点に近い市役所(横須賀市市役所)、西行政センター、久里浜行政センター、三浦市三崎中学校の4地点を解析対象とした。詳細は参考資料に示す。

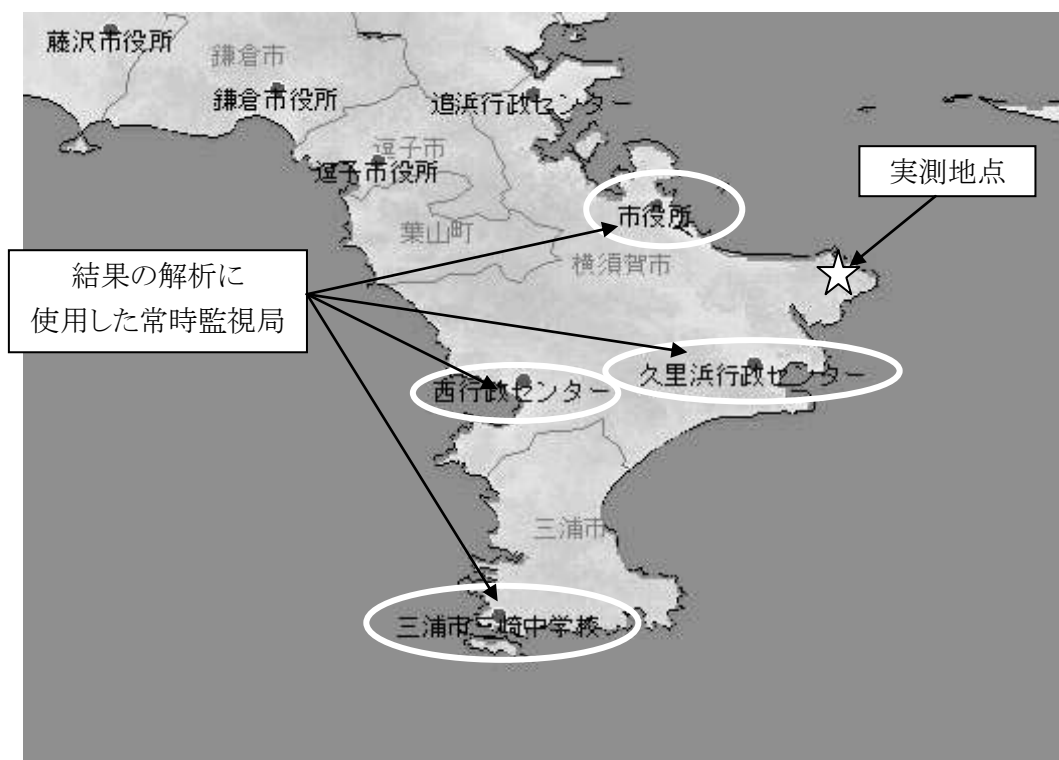


図 55 実測地点及び周辺の常時監視局

本調査にて解析対象とした常時監視局の周辺環境を表 42 に示す。

表 42 解析に使用した常時監視局の周辺環境(1/2)

地点名	市役所(横須賀市役所)
◎横須賀市の市街地にあり、周辺に横須賀港や米軍基地等の発生源がある。	
地点名	久里浜行政センター
◎久里浜港、JVC ケンウッド横須賀事業所(工場)などの発生源がある。	

表 42 解析に使用した常時監視局の周辺環境(2/2)

地点名	三浦市三崎中学校
-----	----------

◎周辺には三崎漁港があり、主に漁船の排ガスの影響を受ける可能性がある。



地点名	西行政センター
-----	---------

◎周辺に港湾及び自衛隊の訓練場がある。



ウ) 実測地点詳細

実測地点及び周辺環境を以下に示す。実測地点は高台にあるため航路との間に遮蔽物はなく、周辺に顕著な排出源もない。また、主要な航路(浦賀水道)との距離は約 1.5km 程度である。

表 43 実測地点及び周辺環境

地点名	神奈川県立 観音崎公園 ビジターセンター脇	
緯度／経度／標高	N35° 15' / E139° 44' / 15m	
航路との距離	 <p>航路との距離 約 1.5km</p> <p>★:実測地点</p>	
周辺の様子	 <p>東側</p>	 <p>西側</p>
測定小屋		

エ) 測定項目

上記地点における測定項目を以下に示す。本調査では NO₂、SO₂ などの一般的な大気汚染物質モニターに加えてサルフェートモニターを設置し、PM2.5 中の硫黄酸化物濃度 (Sulfate) を測定した。また、船舶の航行状況を確認するためビデオカメラを設置した。なお、Sulfate モニターはサンプリング約 3 分間、分析約 10 分間のサイクルで濃度を算出するため、実際に出力された (記録された) 濃度は、およそ 15 分前の大気の状態を示している。

表 44 解析に使用した測定地点における測定項目及び時間分解能

項目	実測地点	市役所	西行政センター	久里浜行政センター	三浦市三崎中学校
NO	◎	○	○	○	○
NO ₂	◎	○	○	○	○
SO ₂	◎			○	○
O _x		○	○	○	○
NMHC			○	○	○
CH ₄			○	○	○
THC			○	○	
SPM		○	○	○	○
PM2.5	○				
Sulfate	●				
風向・風速	◎		○		○

注)◎:1 分値および 1 時間値、○:1 時間値のみ、●:15 分値及び 1 時間値

オ) 分析方法

本調査では、実測地点における大気汚染物質濃度と航行中の船舶排ガスの関連性を把握するため、以下の解析を行った。

- ・ 実測期間中の気象状況の確認
- ・ 環境基準との比較
 - 実測地点における大気環境、周辺の常時監視局との比較
- ・ 特徴的な濃度変化傾向の原因分析
- ・ 風向別濃度分析
- ・ 船舶航行量と大気汚染物質濃度の関連性分析
 - 特徴的な濃度変化が見られた日を対象にケーススタディを実施

か) 解析に使用したデータ

解析に使用したデータを以下に示す。本調査では前述した大気汚染物質測定値に加え、実測期間における気象状況を把握するためアメダス測定値及び気象庁客観解析データ(GPV)を使用した。なお、大気汚染物質測定値については、前述のとおり4地点のデータを使用した。

表 45 解析に使用したデータ

項目	データ
① 実測地点周辺の風向・風速	<ul style="list-style-type: none"> ・気象庁アメダス ・気象庁客観解析データ^{注1}
② 船舶航行情報	<ul style="list-style-type: none"> ・大型船入港予定情報^{注2} ・ライブ船舶マップ^{注3} ・ビデオカメラ画像
③ 大気汚染状況	<ul style="list-style-type: none"> ・常時監視局測定値(詳細:4地点、広域:関東) ・実測結果

注1:(財)気象業務支援センター <http://www.jmbcs.or.jp/hp/online/f-online0c.html>

注2:東京湾海上交通センター <http://www6.kaiho.mlit.go.jp/tokyowan/schedule/scheduleindex.htm>

注3:Marine Traffic.com <http://www.marinetraffic.com/ais/jp/default.aspx?level0=100>

② 調査結果

ア) 実測期間中の気象状況

実測期間中の気象状況を把握するため AMeDAS データの推移を確認した。実測地点周辺の AMeDAS 配置図を図 56 に示す。ここでは、実測地点に近い「横浜」と「三浦」のデータを使用した。

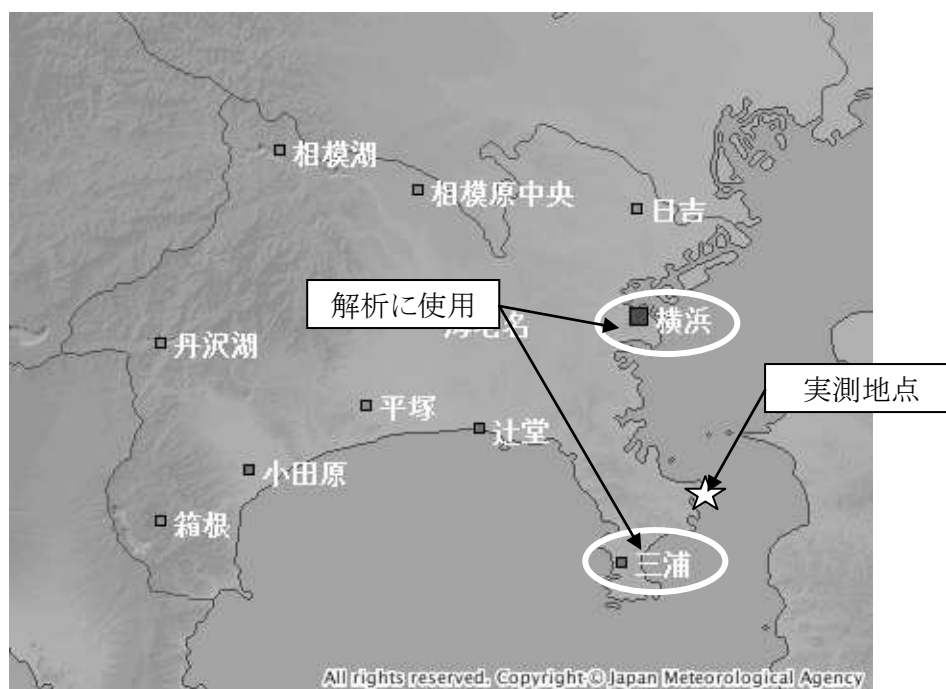
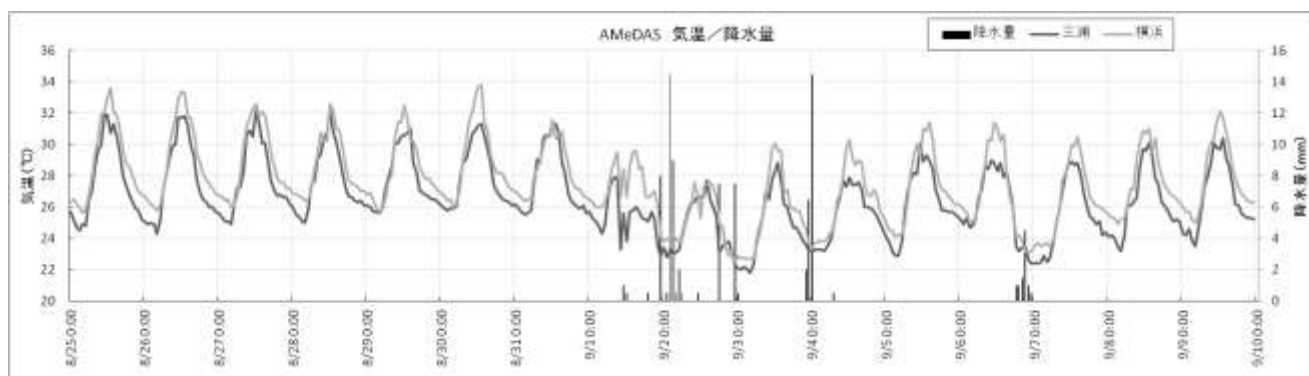


図 56 神奈川県のアメダス配置図

図 57 に実測期間中の気温及び降水量の推移、表 46 に AMeDAS 横浜における天気観測結果を示す。観測初日から 8/31 までは晴れて最高気温も 30 度以上となった。9/2～9/3、9/4 の早朝、9/6 の夕方は天気が崩れたが、それ以外を除くと実測期間中晴天に恵まれた。なお、実測期間中の天気図は参考資料に示す。



注：棒グラフは「横浜」の降水量を示す。

図 57 AMeDAS 三浦、横浜における気温及び降水量の推移

表 46 AMeDAS 横浜における天気

年月日	3時	9時	15時	21時
2012/8/25	快晴	晴	晴	薄曇
2012/8/26	快晴	晴	晴	薄曇
2012/8/27	快晴	快晴	晴	晴
2012/8/28	晴	曇	薄曇	晴
2012/8/29	薄曇	薄曇	薄曇	薄曇
2012/8/30	薄曇	晴	晴	快晴
2012/8/31	快晴	晴	晴	晴
2012/9/1	晴	曇	曇	曇
2012/9/2	雨	曇	曇	雷
2012/9/3	曇	曇	晴	雨
2012/9/4	雨	曇	曇	曇
2012/9/5	薄曇	晴	薄曇	薄曇
2012/9/6	薄曇	薄曇	薄曇	雨
2012/9/7	曇	晴	晴	薄曇
2012/9/8	晴	曇	曇	晴
2012/9/9	晴	晴	晴	薄曇

注：悪天候日（雨、雷）をハッチングした。

1) 環境基準との比較

本調査にて測定対象とした大気汚染物質の環境基準を表 47 に示す。なお、厳密に環境基準の達成状況を確認するためには1年間の測定値が必要であるため、ここでは参考扱いとする。

<主な結果>

- ・ 16日間の測定期間において、実測地点におけるSO₂、NO₂、(PM2.5)の濃度はいずれも全国の常時監視局の平均値(平成22年度)を下回った。

表 47 大気汚染に係る環境基準

物 質	評価方法
二酸化硫黄(SO ₂)	年間にわたる1時間値の1日平均値のうち、高い方から2%の範囲内にあるものを除外した値が0.04ppm以下に維持されること。ただし、1日平均値が0.04ppmを超えた日が2日以上連続しないこと。
二酸化窒素(NO ₂)	年間にわたる1時間値の1日平均値のうち、年間で低い方から98%に相当するものが0.06ppmを超えないこと。
微小粒子状物質(PM2.5)(参考)	1時間値の1年平均値が15μg/m ³ 以下であり、かつ、1日平均値のうち、年間で低い方から98%に相当するものが35μg/m ³ 以下であること。

注:本調査にて測定した物質のみを示す。その他の物質については参考資料に示した。PM2.5は、以降の詳細分析で対象としていないことから参考値とした。

主な結果を以下に示す。なお、実測期間中における各大気汚染物質の日平均値および、平成22年度の全国の常時監視局測定値の平均濃度を表 48 に示す。

- SO₂の期間中の1日平均値は0.002ppmであり、平成22年度の全国の常時監視局測定値と比較しても低い濃度となった。
- NO₂の期間中の1日平均値は0.007ppmであり、SO₂と同様に平成22年度の全国の常時監視局測定値と比較しても低い濃度となった。
- PM2.5の期間中の1日平均値は8.0μg/m³であり、他の物質と同様に平成22年度の全国の常時監視局測定値と比較して低い濃度となった。

表 48 実測地点と常時監視局の1時間値の日平均値の比較(平成22年度)

	SO ₂ [ppm]	NO ₂ [ppm]	PM2.5(参考) [μg/m ³]	NO(参考) [ppm]
一般局	0.003(99.7%)	0.011(100%)	15.1(32.4%)	0.004
自排局	0.003(100%)	0.022(95.7%)	17.2(8.3%)	0.020
実測地点	0.002	0.007	8.0	0.004

注:()は環境基準の達成率を示す。NOは環境基準が設定されていないが、実測地点にて顕著な濃度変化が見られたため、参考として示す。SO₂の環境基準未達成局は、鹿児島県であり、主に桜島の噴煙によるものと考えられる。

ウ) 実測地点における大気汚染状況の把握

実測期間中の実測地点及び周辺の大気汚染の概況を把握するため、大気汚染物質濃度の推移及びを確認した。

【 NO、NO₂ 】

実測地点における NO 及び NO₂ 濃度の推移を図 58 に示す。NO は NO₂ に比べて顕著なスパイク状のピークが見られる。この NO のピークは午前中に発生することが多い。次に、毎時平均濃度の推移 (図 59) を見ると、NO₂ は対流混合により日中濃度が低くなり、大気が安定する夜間に高濃度となっている。一方、NO は濃度午前 6 時～12 時に顕著なピークが見られ、12ppb に達している。その他の時間帯が約 2ppb 程度であることから、何らかの発生源の影響により毎日 10ppb 程度上昇していると推察される。NO 及び NO₂ の時間変化の特徴と推定される要因は表 49 に示すとおり。

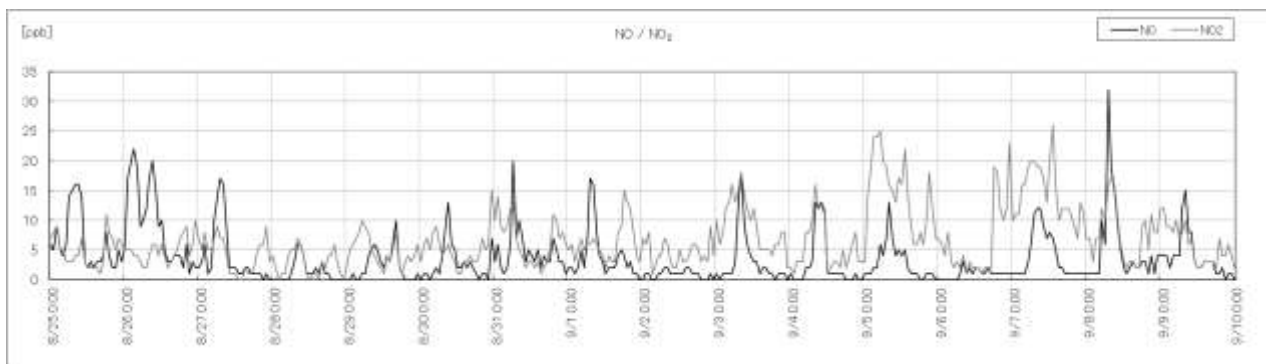


図 58 実測地点における NO、NO₂ 濃度の推移

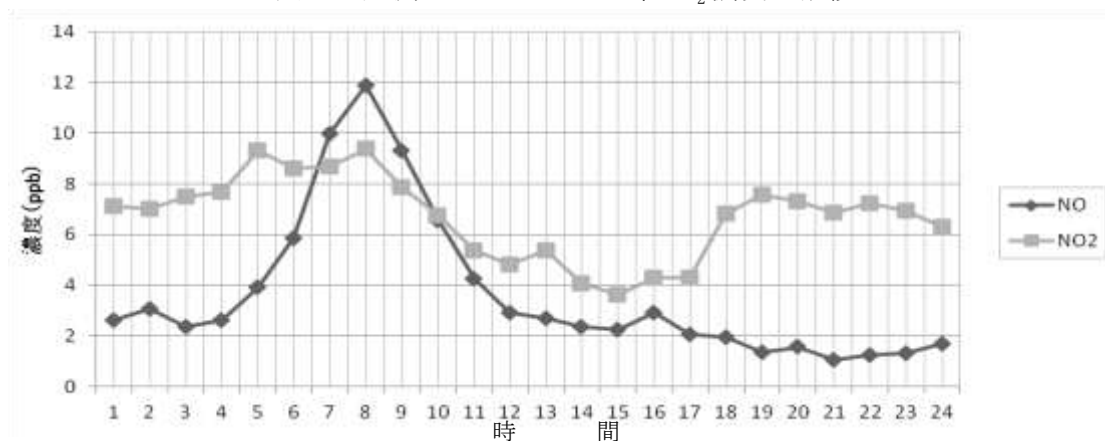


図 59 NO 及び NO₂ 濃度の毎時平均値の推移

表 49 NO、NO₂ の主な特徴と推定される要因

主な特徴		推定される要因
NO	・ 午前 8 時にピーク	航行中の船舶排ガスの影響 (船舶航行量が多い時間帯と想定される)
	・ 午前 9 時頃から濃度減少	気象要因 (日射による対流拡散)
NO ₂	・ 午前 9 時頃から濃度減少	気象要因 (日射による対流拡散)

【 SO₂ 】

図 60 に実測期間中の SO₂ 濃度の推移を示す。短時間で 10ppb を超えるような顕著なスパイク状のピークが多く見られる。毎時平均値で見ると(図 61)、午前 8 時頃に顕著な濃度上昇が見られる。このピークは、平常時が 2ppb 程度であることから何らかの発生源の影響によるものと推察される。

SO₂ の時間変化の特徴と推定される要因は表 50 に示すとおり。

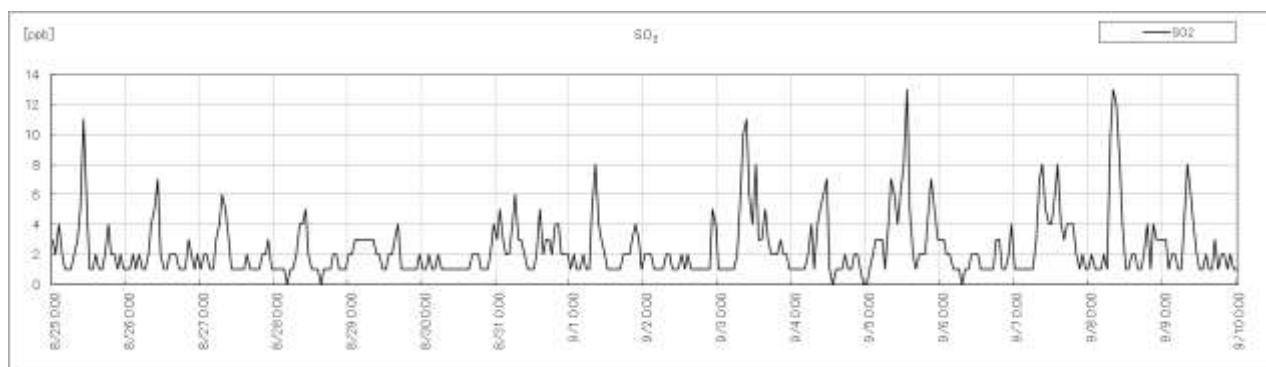


図 60 実測地点における SO₂ 濃度の推移

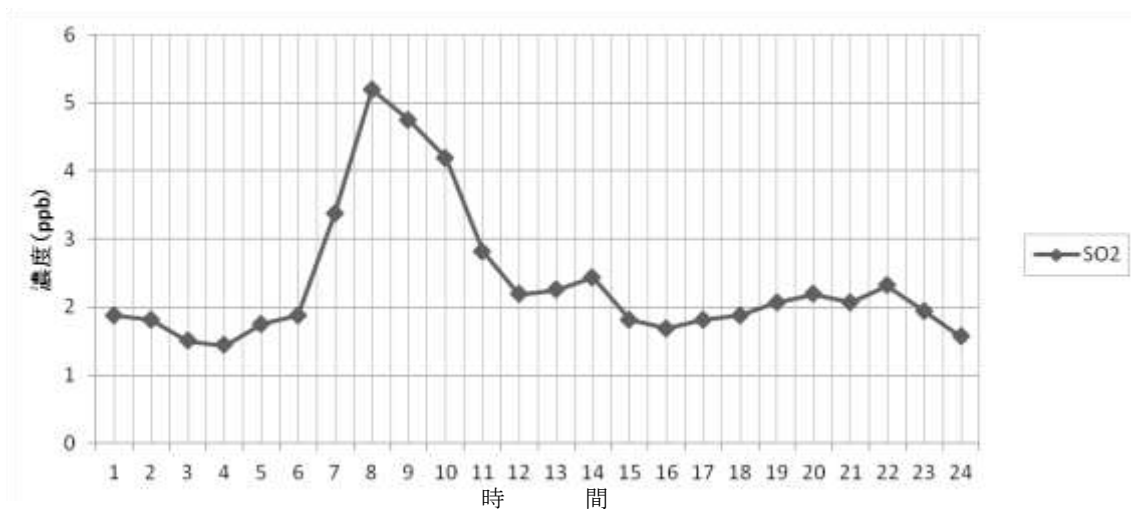


図 61 SO₂ 濃度の毎時平均値の推移

表 50 SO₂ の主な特徴と推定される要因

主な特徴		推定される要因
SO ₂	・ 午前 8 時にピーク	航行中の船舶排ガスの影響(船舶航行量が多い時間帯と想定される)
	・ 午前 9 時頃から濃度減少	気象要因(日射による対流拡散)

【 Sulfate、(PM2.5) 】

図 62 に実測期間中の推移を示す。PM2.5 は夜間にスパイク状のピークが見られることが多かった。PM2.5 中の Sulfate 濃度(図 63; 灰色線)は午前 10 時頃にピークが出現し、NO 及び SO₂ のピークより 1~2 時間程度遅れている。

PM2.5 と Sulfate の時間変化の特徴と推定される要因は表 50 に示すとおり。

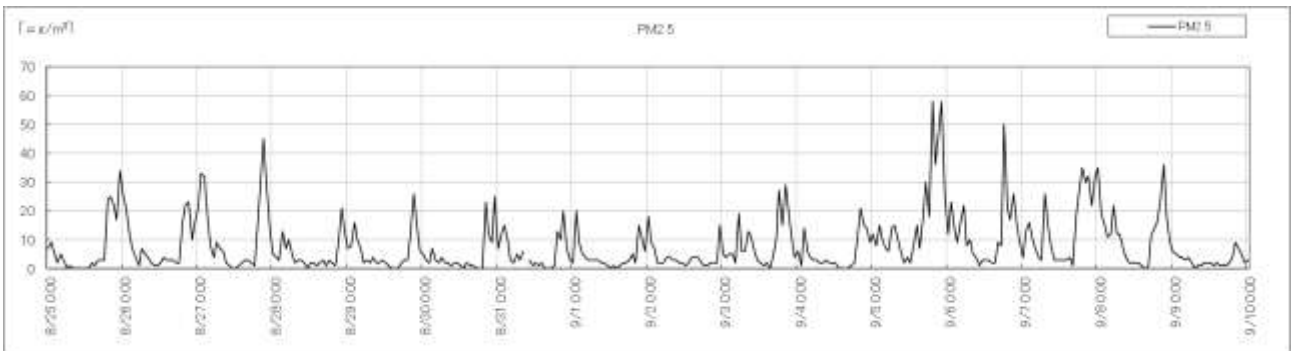


図 62 実測地点における PM2.5 濃度

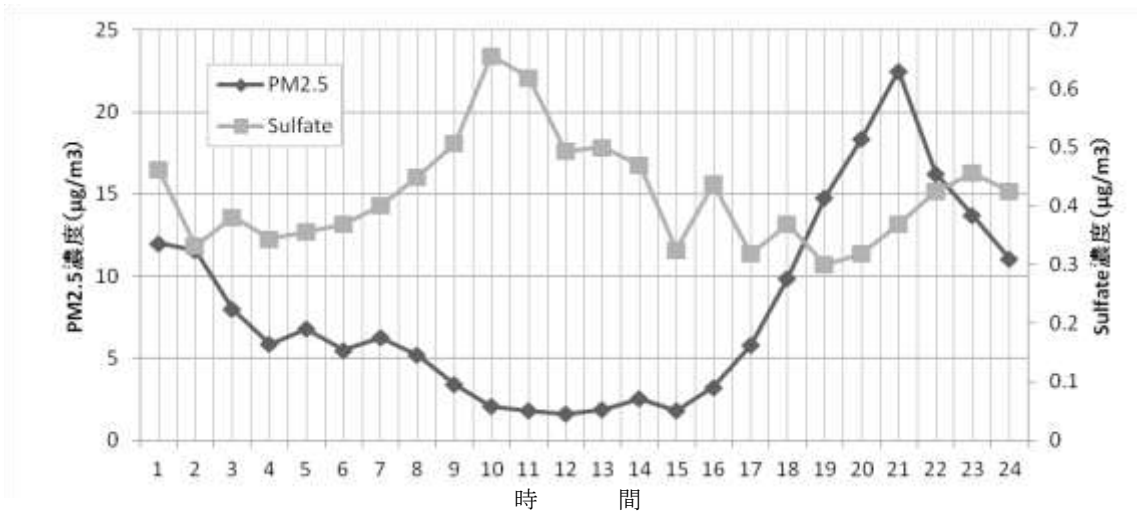


図 63 PM2.5 および Sulfate 濃度の毎時平均値の推移

表 51 PM2.5 及び Sulfate の主な特徴と推定される要因

	主な特徴	推定される要因
Sulfate	・ 10 時にピーク	航行中の船舶排ガスの影響
	・ 午前 12 時頃から濃度減少	気象要因(日射による対流拡散)
PM2.5	・ 21 時にピーク、夜間に高濃度	不明

1) 周辺の常時監視局との比較

実測期間中の実測地点周辺の大気環境を把握するため、周辺の常時監視局測定値との比較を行った(図 64、各地点の配置は図 55 参照)。なお、市役所(横須賀市役所)は、一般局ではあるものの横須賀港の西側 400m、三崎中学校は三崎港の北側約 400m、久里浜行政センターは久里浜港の西北西約 600m に位置しており、停泊中の船舶等の影響を受けている可能性が高い。

NO の推移を見ると、実測地点及び市役所にてスパイク状のピークが多々見られる。全体的に全測定地点が同様の变化傾向を示している。また、NO₂ は 9 月 1 日以降、市役所で他の測定地点よりも高濃度になる傾向が見られるが、全体的に変動が小さく測定地点間のトレンドは似ている。

一方、SO₂ は他の物質と同様に地点間の变化傾向が似ており、全地点でほぼ同じ時間帯にスパイク状のピークが見られる。スパイク状のピークが見られる場合、実測地点が最も高濃度になることが多く、周辺の常時監視局よりも 5ppb 程度高い値となった。

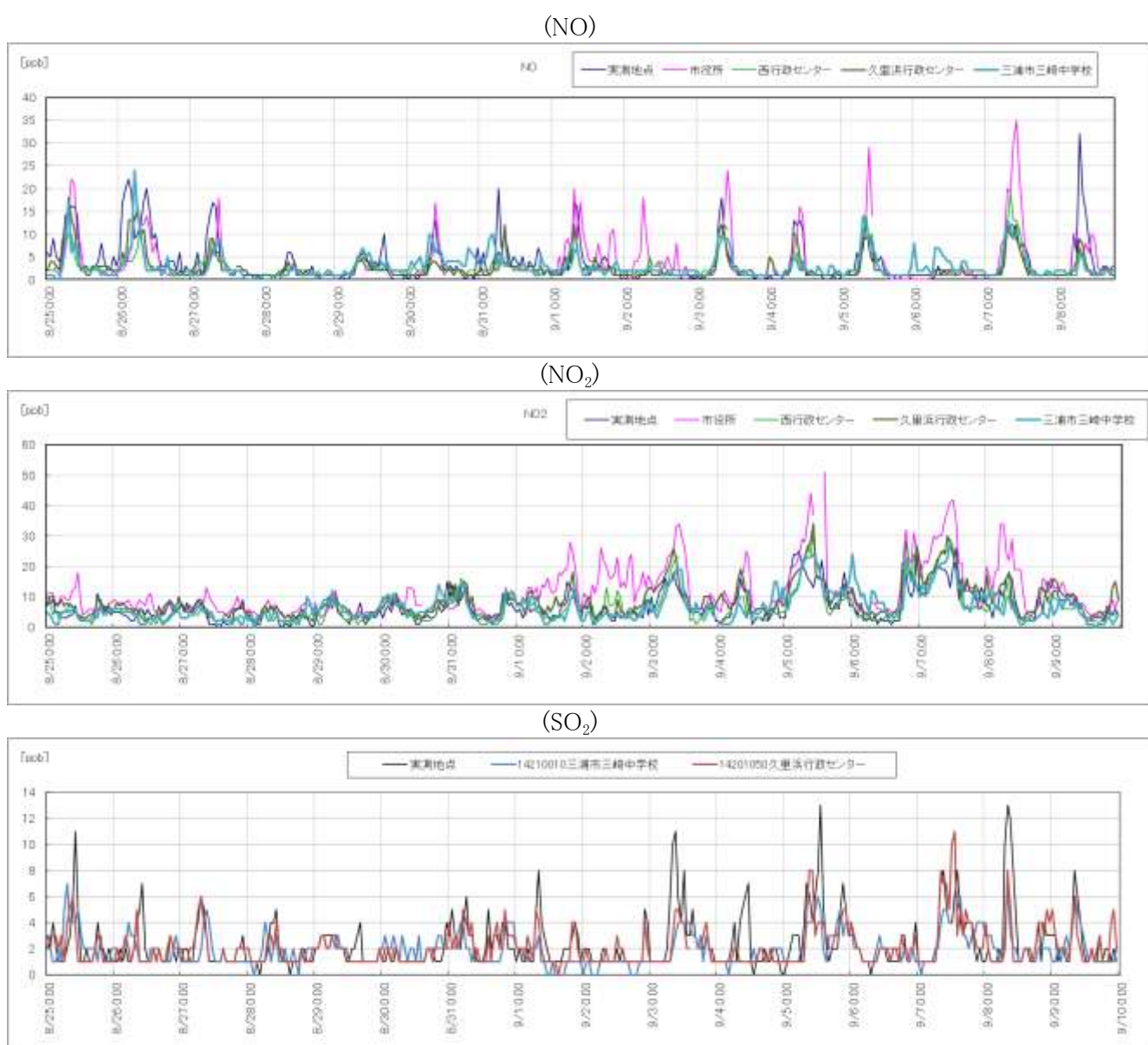


図 64 実測地点及び周辺の常時監視局における実測期間中の大気汚染物質濃度の推移(1 時間値)

次に、時間変化の特徴を把握するため、前述した「①実測地点における大気環境」と同様に物質毎に毎時平均を確認した(図 65)。前述した解析結果において NO 及び SO₂ に見られた午前中のピークは周辺の常時監視局においても見られた。しかし、ピーク時の濃度は市役所の NO を除いて実測地点に比べて小さかった。他方、NO₂ は市役所を除いてほぼ同じような値及び時間変化となったことから、ローカルな排出源よりも気象要因によって濃度が決まると考えられる。なお、市役所は周囲に横須賀港や米軍基地があり、これらの影響を受けている可能性が高い。

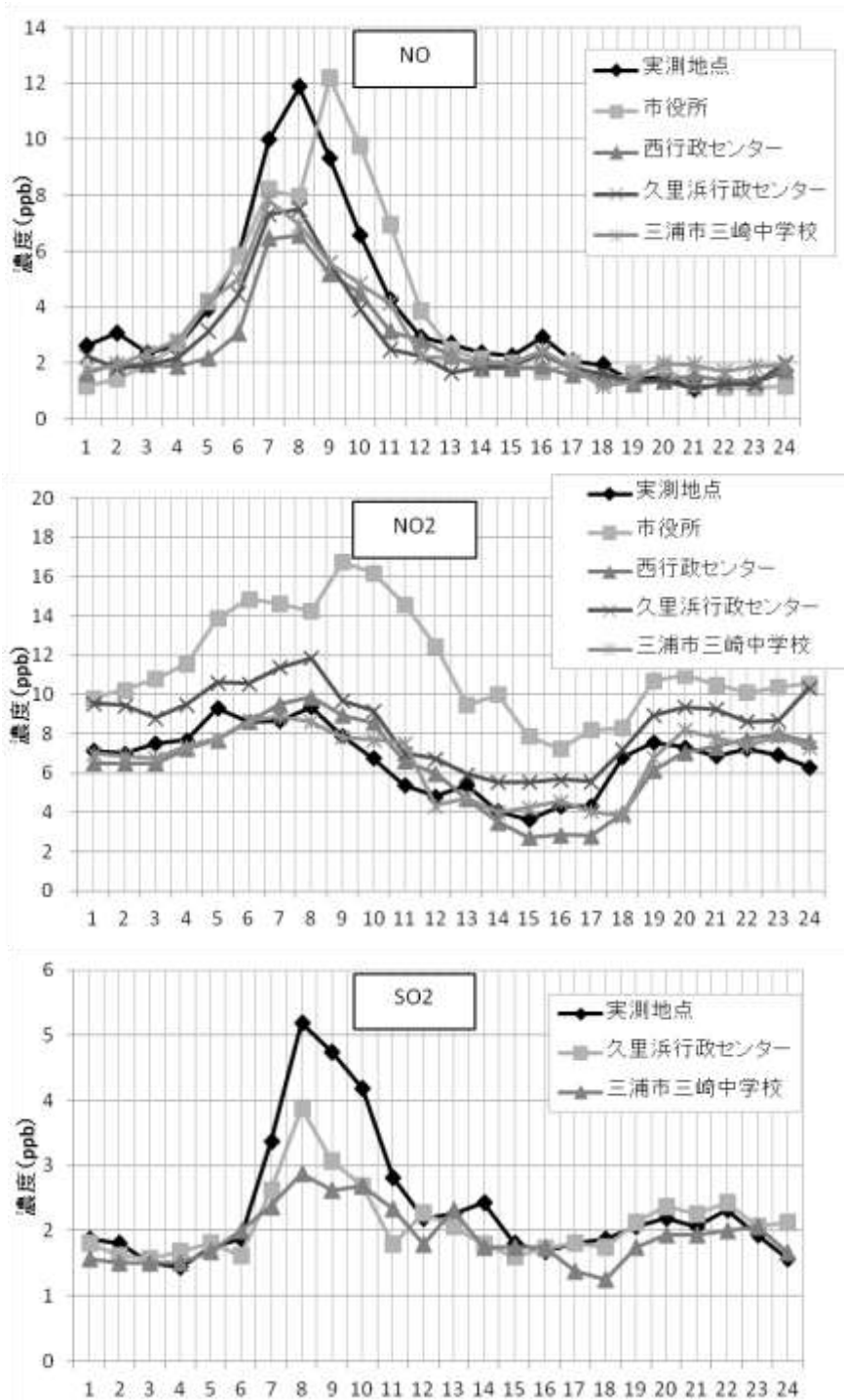


図 65 実測地点及び周辺の常時監視局における毎時平均濃度の推移

カ) 風向別濃度

発生源との位置関係を鑑みると、実測地点の濃度は風の影響を強く受ける可能性が高い。ここでは、航行中の船舶排ガスの影響を定量的に把握するため、風向・風速に着目した分析を行った。

主要な航路(浦賀水道)と実測地点の位置関係を図 66 に示す。本調査における実測地点においては、北北西～南南東風の風が卓越する際に船舶排ガスを捉えやすい。ただし、北よりの風の場合は、東京湾に隣接する工場や発電所等からの汚染物質と区別するのが困難であると考えられるため、北東～南よりの風が運航中の船舶排ガスを捉えるのに適していると考えられる。



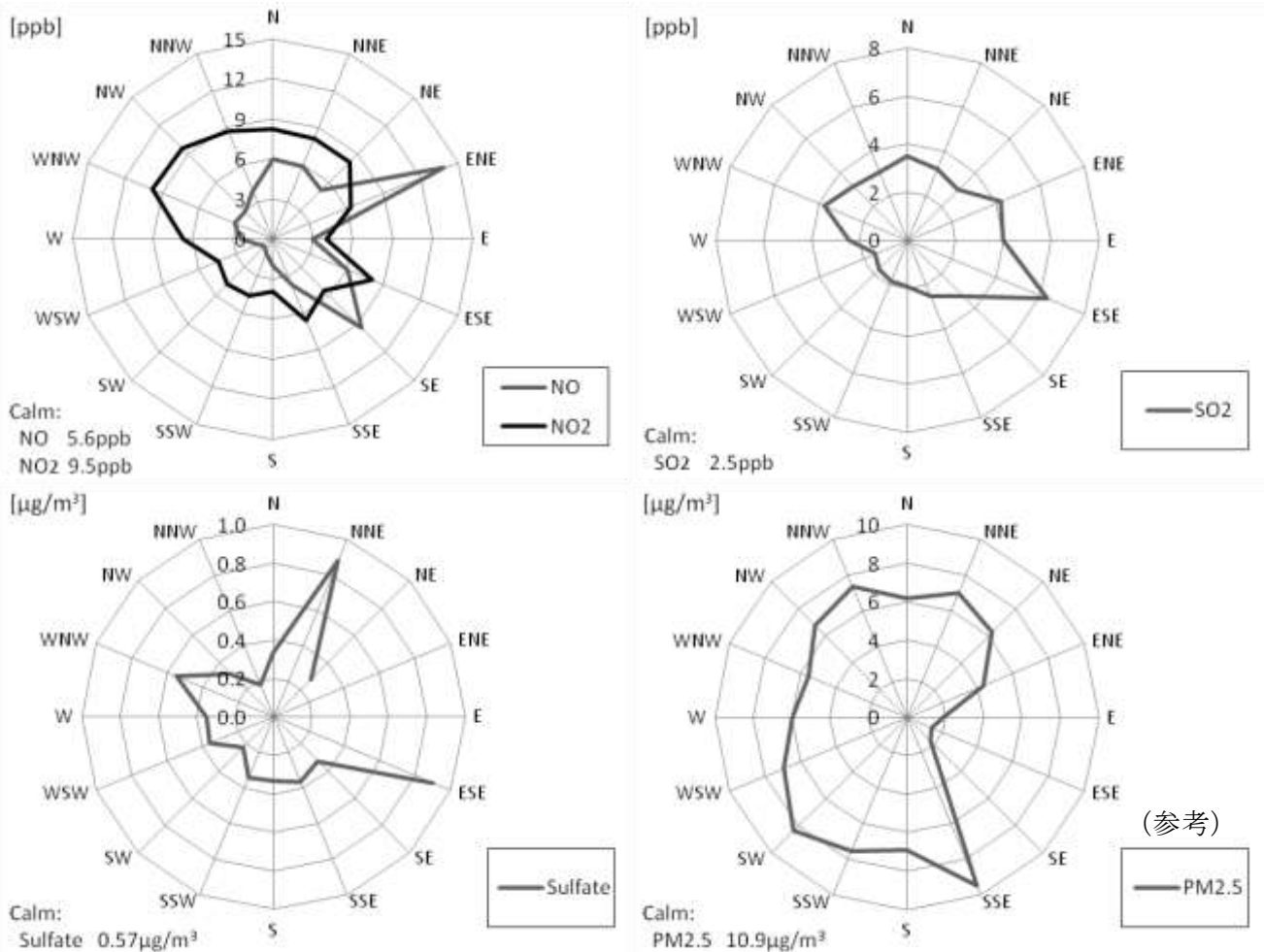
図 66 実測地点と航路(浦賀水路)の位置関係及び適した風向

風向別の濃度分析には、データ数の多い1分値を使用した。ただし、Sulfateについては時間分解能が15分のため15分値を使用した。風向別のデータ数を表 52 に示す。期間中、太平洋高気圧に覆われることが多かったため南風34%、次いで静穏が20%を占めている。

表 52 各風向におけるデータ数(1分値)

風向	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S
データ数	665	355	118	9	2	131	413	3,754	8,986
発生率	3%	1%	0.4%	0%	0%	0.5%	2%	14%	34%
風向	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	静穏	
データ数	2,128	1,002	497	529	728	1,097	760	5,256	
発生率	8%	4%	2%	2%	3%	4%	3%	20%	

NO、NO₂、SO₂、Sulfate、PM2.5 の風向別濃度を図 67 に示す。NO 及び SO₂ は ENE～SE 方向の時、つまり、航路方向から風が吹く際に他の風向よりも 10ppb 程度高濃度となっている。一方、NO₂ は対照的に内陸から風が吹く際 (NNW～W) に比較的高濃度となる傾向が見られた。Sulfate は NNE、ESE 風が卓越する際に 0.9 μg/m³ 以上になり、濃度の風向依存性が強く見られた。参考までに PM2.5 は、内陸だけでなく南南西の風が卓越する場合に最も高濃度になるが、データ数の少ない SE～E を除いてほぼ同程度となった。



注: Sulfate の ENE、E はデータなし。

図 67 NO、NO₂、SO₂、Sulfate、PM2.5 の風向別濃度

か) 高濃度ピークに関する分析

前述した分析結果より、NO_x 及び SO₂、Sulfate の午前中に見られる濃度上昇の要因として気象要因及び航行中の船舶排ガスの影響が考えられる。ここでは大気汚染物質濃度と各種観測データ、船舶航行情報(大型船入港予定情報、船舶ライブマップ)を比較しつつ濃度上昇の要因を分析した。

【 船舶航行状況との比較 】

前述した物質ごとの毎時平均値の推移と、東京湾「大型船入航予定情報」(図 68)を比較した。なお、集計の際は図 69 に示した計算方法によって、入航予定時刻を実測地点付近を通過する時刻に補正した値を使用した。

大型船入港予定における出/入港予定隻数の実測期間中の毎時積算値を図 70 に示す。実測期間中は航行隻数、総トン数ともに6時と19時にピークを持つ二つ山の分布となった。特に午前6時は顕著なピークであった。また、午前中は東京湾に入港する船舶(南口入港)が多く、逆に、夕方は出航する船舶(北口入港)が多くなる傾向が見られた。

大型船入航予定情報

東京湾海上交通センター 

日付:2012年12月06日 取得日数:1日分で検索した結果は次のとおりです。

この情報は、予定が変更になることがありますので、ご注意願います。

浦賀水道航路の南口入航予定船(北航船) 20隻

入航予定時刻 (日付/時刻)	船名	船種	総トン数	全長	種別	国籍	仕向地 (入航航路)	中ノ瀬航路	パイロット
1206/03:20	おーしゃんうえすと	客船・フェリー	11522	166		JPN	東京 (東京東航路)	経由	×
1206/04:55	YM SKY	コンテナ船	17153	171		PAN	東京 (東京西航路)	経由	有
1206/05:00	WAN HAI 263	コンテナ船	18872	198		SGP	東京 (東京西航路)	経由	有
1206/05:05	WESTWOOD DISCOVERY	コンテナ船	21583	183		LBR	東京 (東京西航路)	経由	有
1206/05:15	STUTTART EXPRESS	コンテナ船	53715	294	巨	DEU	東京 (東京西航路)	経由	有

注:航行予定は南口入航予定と北口入航予定の2種類がある。南口入港予定は浦賀水路を通過して東京湾に入港する予定の船舶、北口は逆に出港予定の船舶を示す。なお、浦賀水路は右側通行のため東京湾を出港する船舶(北口)の方が実測地点との距離が近い。

図 68 東京湾大型船航行状況

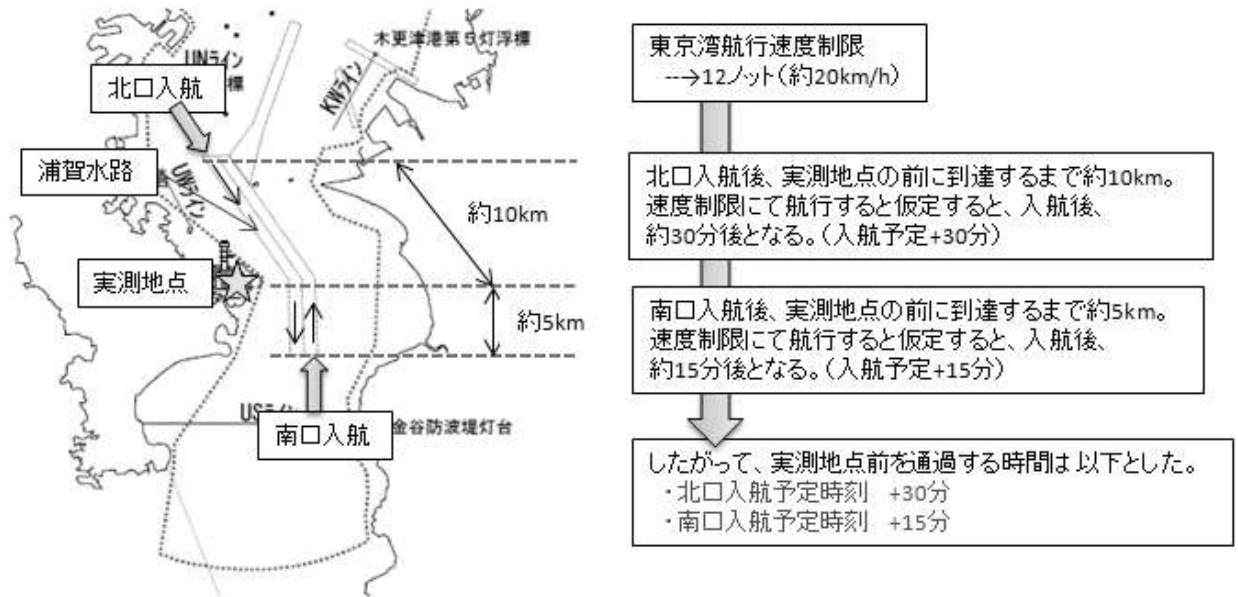


図 69 大型船入航予定の時刻補正方法

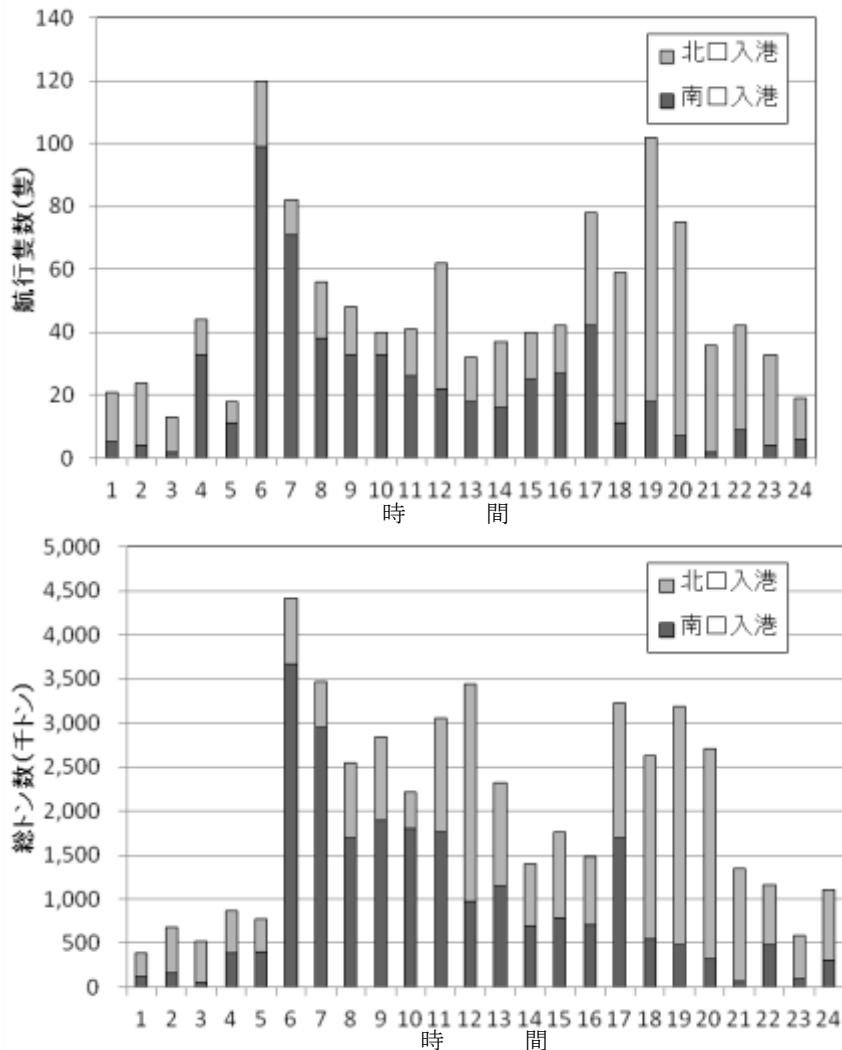


図 70 大型船入航予定情報をもとに算出した実測地点前を通過する船舶の毎時積算値
(上:航行隻数、下:総トン数)

【 気象条件との比較 】

実測地点の風速及び周辺の AMeDAS(三浦、横浜)の気温毎時平均値推移を図 71 に示す。午前中のピークが見られる午前 8 時までは風速が比較的小さいが、濃度が下降し始める午前 8 時頃から風速が大きくなり始め、13 時～20 時頃まで風速 2m/s 程度となっている。一方、気温は午前 7 時頃から上昇しはじめ、午前中の濃度上昇の開始時刻と一致している。

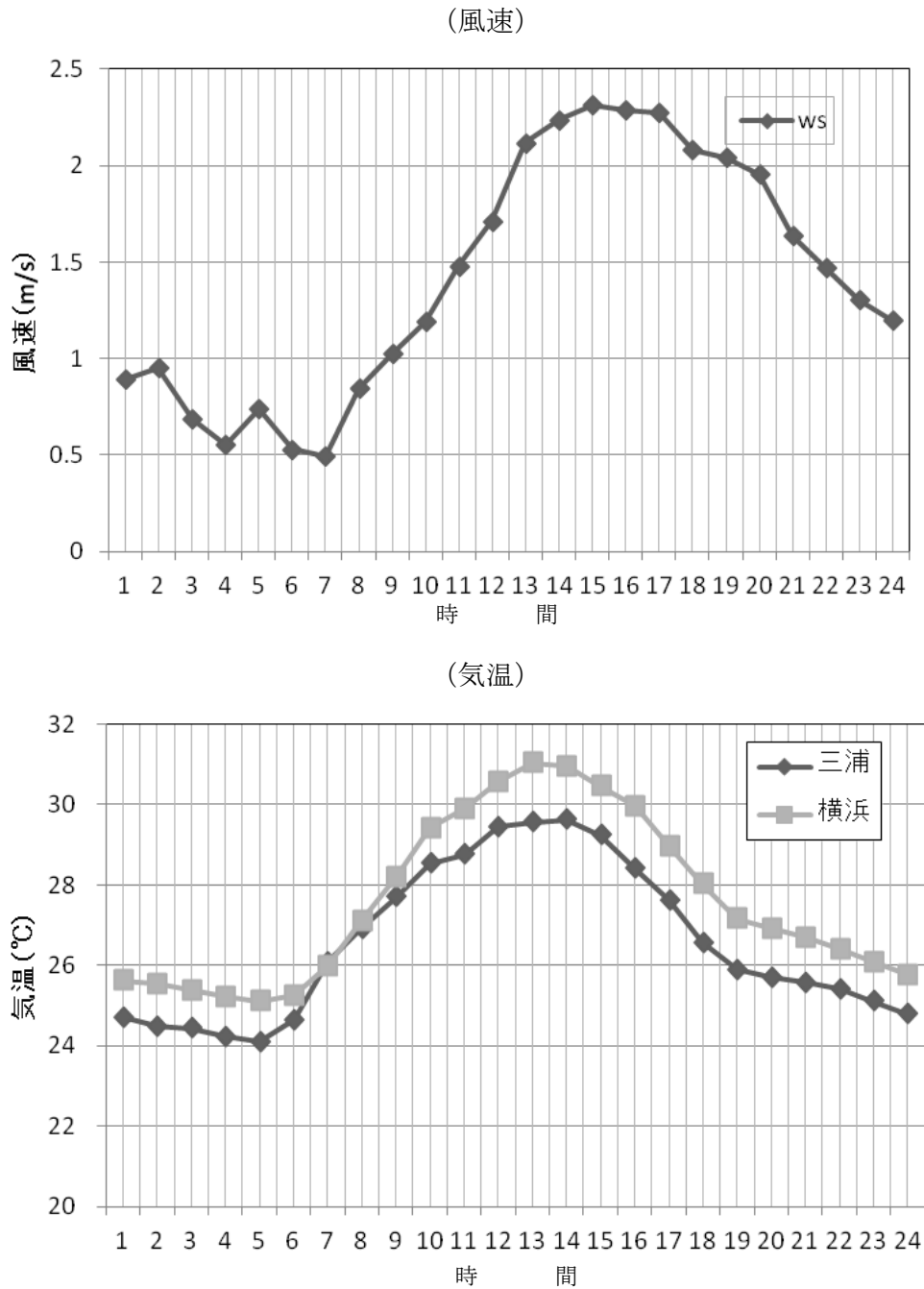


図 71 実測地点における風速(上)及び周辺の AMeDAS における気温(下)の毎時平均値の推移

キ) ケーススタディ

これまでの分析から、NO や NO₂、SO₂、Sulfate は、航行量の多い場合や、航路方向からの風が卓越した場合に濃度が高くなる傾向が見られた。これらを踏まえ、ここでは特徴的な濃度変化が観測された測定日を選んでケーススタディを実施した。

なお、船舶の航行実績の把握には、ライブ船舶マップ²¹のデータを使用した(図 68)。ライブ船舶マップでは、船舶に搭載された AIS²²の受信データを地図上に示した結果を公開しており、90 秒間隔で船舶の位置、種類、船名、船速等を確認することができる。本調査では、実測期間中のこれらの情報を収集し、図 72 に示した位置を通過した船舶の隻数、種類、総トン数を集計し、大気汚染物質測定結果との比較を行った。

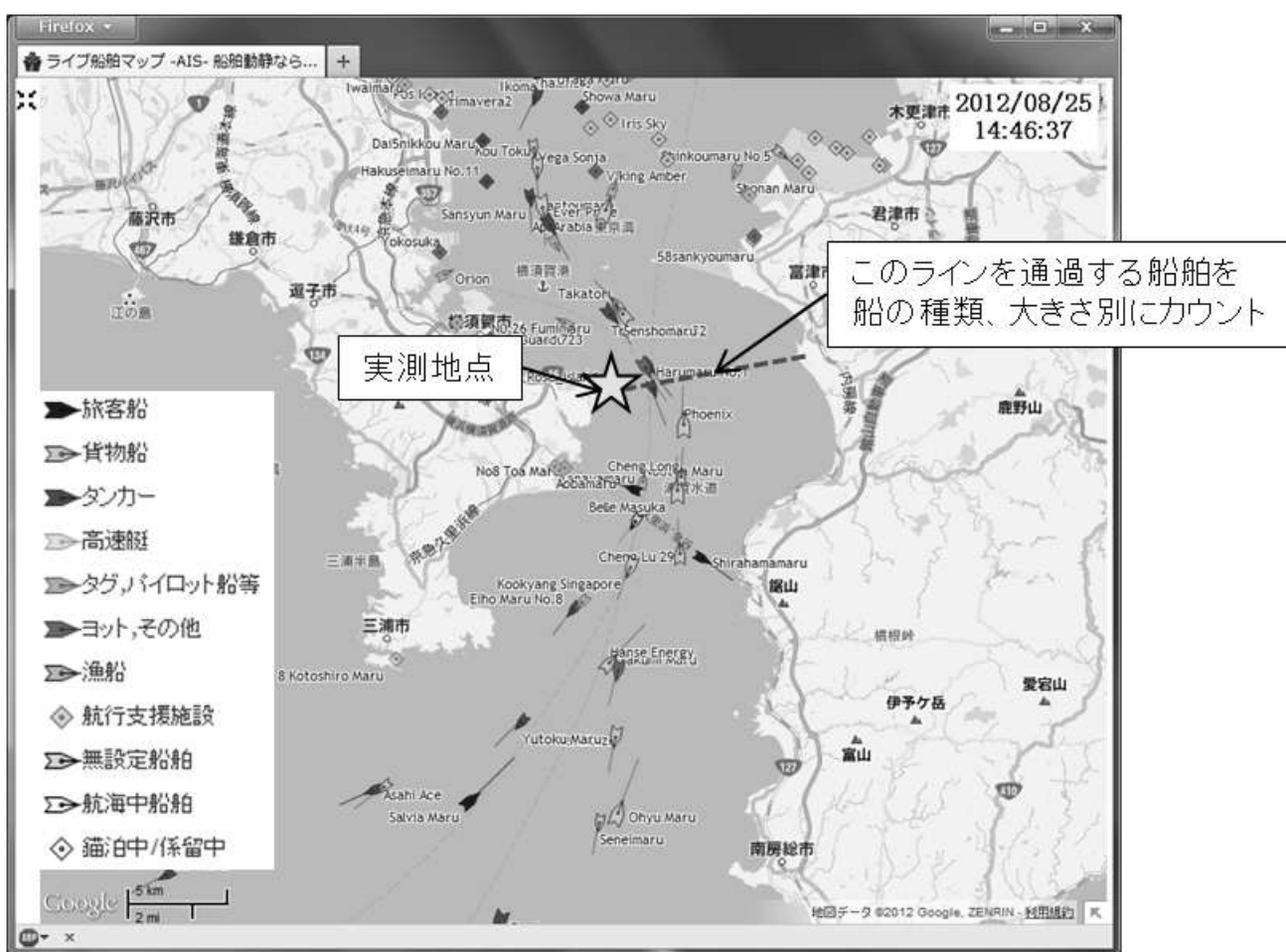


図 72 東京湾の船舶航行状況 (船舶ライブマップ)

²¹ 船舶ライブマップ (Marine Traffic.com), <http://www.marinetraffic.com/ais/jp/default.aspx>

²² 自動船舶識別装置 (Automatic Identification System), 船舶の船名、識別符号、位置、速力等のデータを自動的に発信する装置。300 総トン数以上の国際航海する船舶、500 総トン数以上の非国際航海の船舶、国際航海の全旅客船に搭載が義務付けられている。

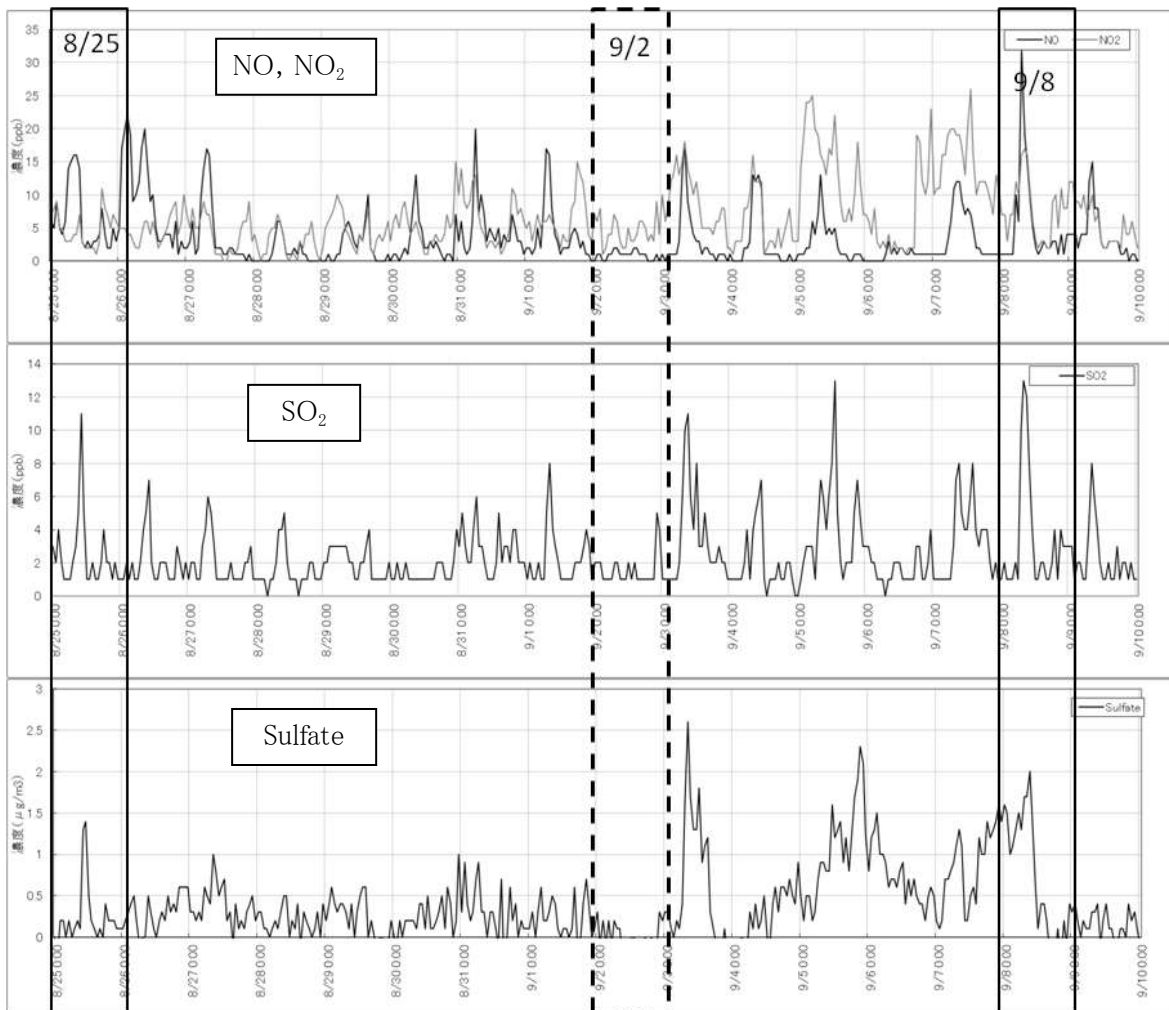
【 ケーススタディ対象日時の選定 】

ケーススタディは、NO、SO₂、Sulfate 濃度の午前中のピークが顕著に見られた8月25日及び9月8日を対象とした。また、比較のためピークが殆んど見られなかった9月2日についても対象とした。なお、PM2.5はこれまでの分析結果から、前述した物質と異なるピークが見られたこと、二次生成物質でありバックグラウンド濃度が大部分を占めることから対象外とした。

表 53 ケーススタディ対象日

日 時	ピークの有無				風			
	NO	NO ₂	SO ₂	Sulfate	午前		午後	
					最多風向	風速 (m/s)	最多風向	風速 (m/s)
① 8月25日	○	○	○	○	静穏	0.5	南	1.4
② 9月8日	◎	○	◎	○	静穏	0.6	南	1.8
③ 9月2日	△	△			北北西	1.0	北西	0.9

注:ピークが見られた日を“○”、物質ごとに期間中最も高濃度のピークとなった日を“◎”、僅かにピークが見られた日を“△”で示す。



注:ケーススタディ対象日のうち、ピークが見られた日を実線枠、見られなかった日を破線枠で囲んだ。

図 73 大気汚染物質濃度測定結果とケーススタディ対象日

【 分析結果その1 8月25日 (ピーク有り) 】

8月25日の気象状況を図74に示す。日本の南海上に台風が位置しているが、東日本全域は終日太平洋高気圧に覆われ穏やかな一日となった。実測地点の風は、午前9時頃まで1m/s以下の弱い北風が吹いていたが、10時頃から南よりの約2.0m/s風が卓越しており、浦賀水路の南方を航行する船舶から排出された排ガスの影響を受けている可能性がある。19時以降、風速が弱くなり始め、22時以降は北寄りの風が卓越している。

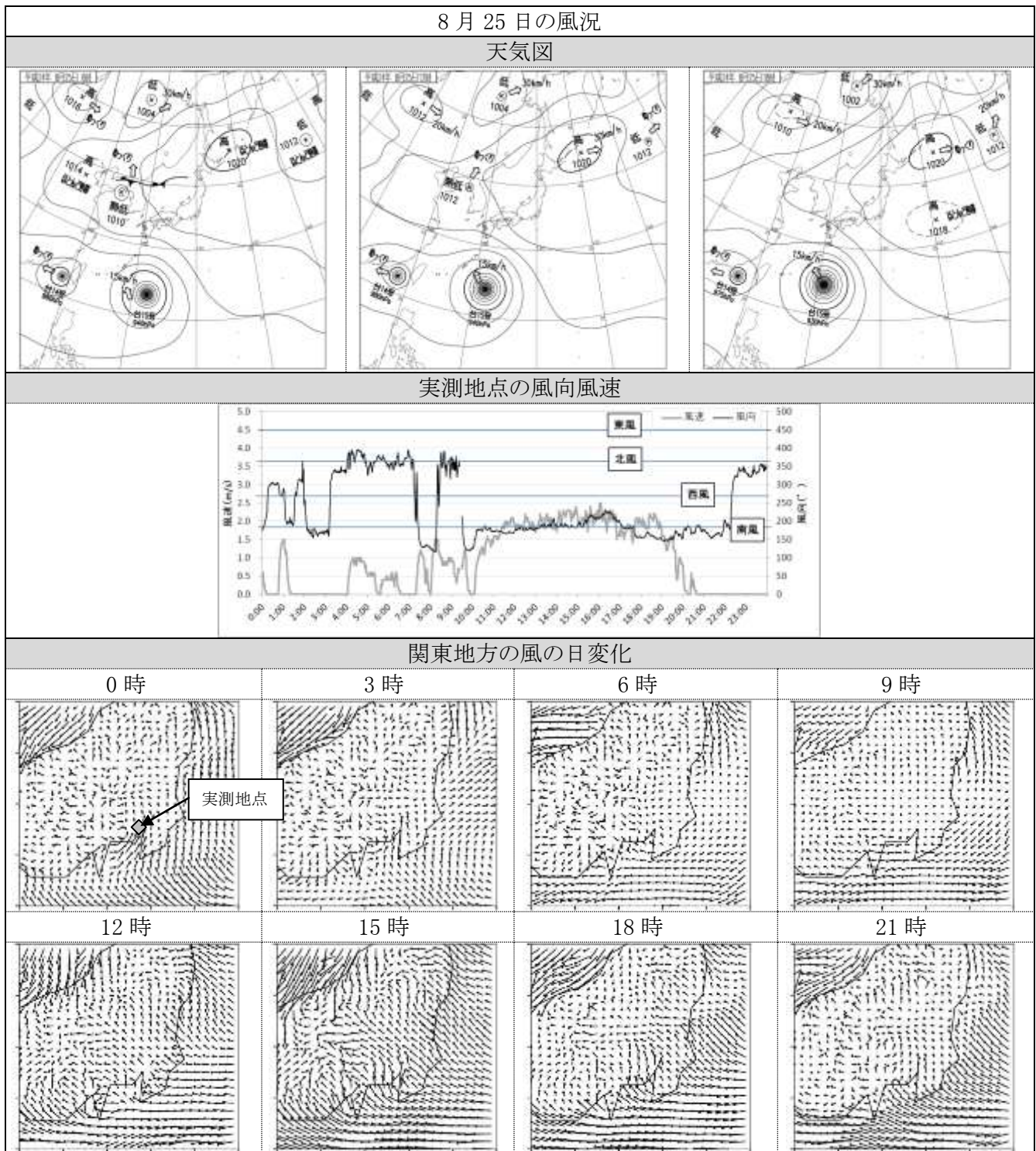


図74 8月25日の風況

NO、NO₂、SO₂、Sulfate 濃度の推移を図 75 に示す。9 時頃に NO、SO₂ の顕著なピークが見られ、その約 1 時間後に Sulfate のピークが見られる。午前 9 時ほど顕著ではないものの、同様のピークは 2 時、18 時、22 時にも見られ、これらのピーク出現時には NO₂ 濃度も対応して上昇している。一方、NO のピークは午前 6 時頃にも見られるが、この時間にはほかの物質のピークは見られない。

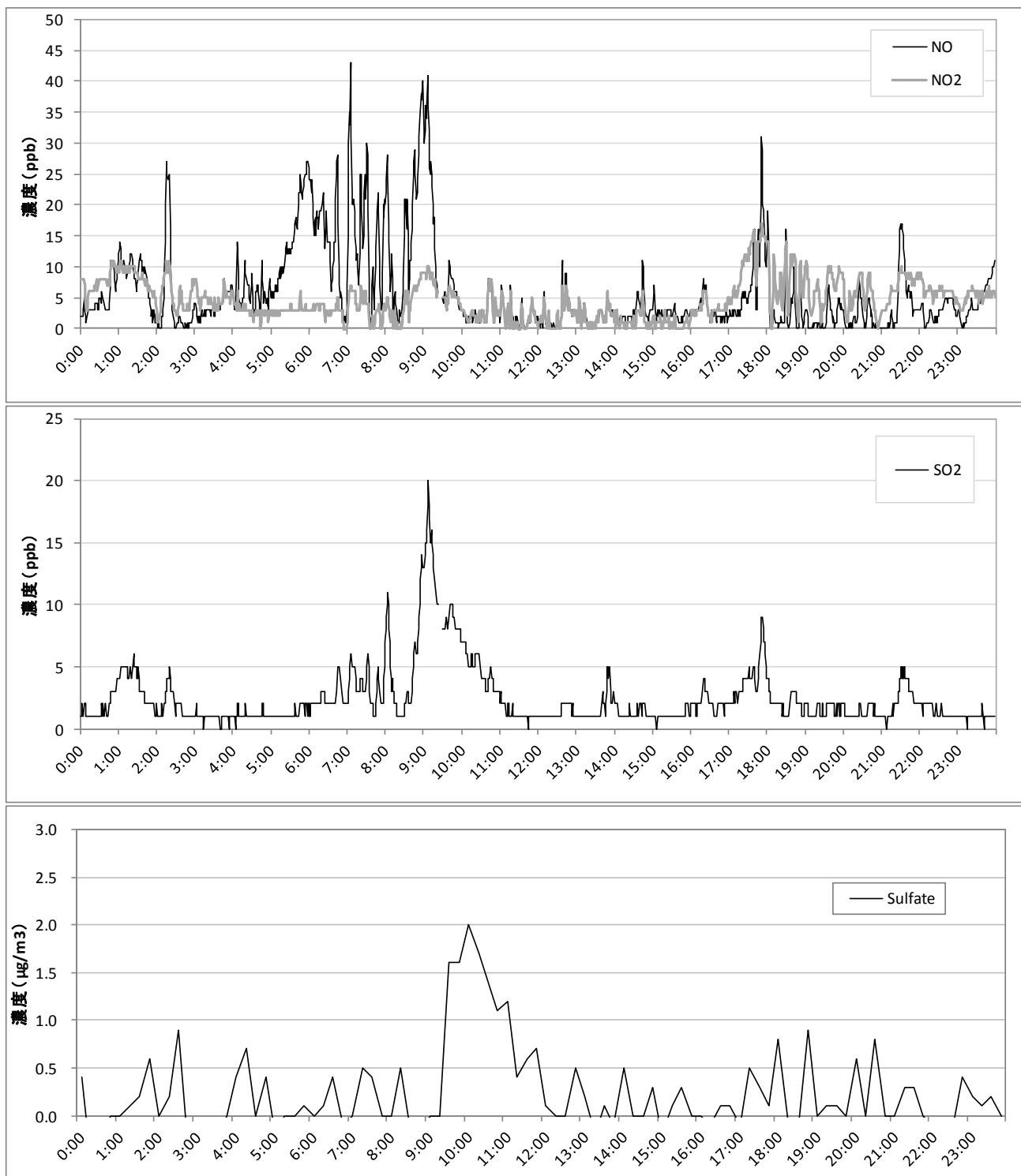


図 75 大気汚染物質測定結果(8月25日)

船舶ライブマップによる実測地点の東側を通過した 8 月 25 日の船舶航行隻数及び総トン数の推移を図 76 に示す。4～7 時、15～18 時、20 時～23 時あたりにもピークが見られる。船の種類別に見ると、貨物船が最も多いが、7～8 時、13～14 時、16～18 時はタンカーの隻数が比較的多くの割合を占める。16 時～17 時に最も航行隻数が多く、この時間帯のライブマップ画像を見るとかなり密集して隊列を組んで航行している様子が見られる。8 月 25 日は船舶ライブマップより総トン数のカウントも行った。5～6 時は隻数に対して総トン数が大きく、大型の船舶が多く通過したことになる。また、7～8 時、11～12 時、16～17 時に大型のタンカーが通過している。

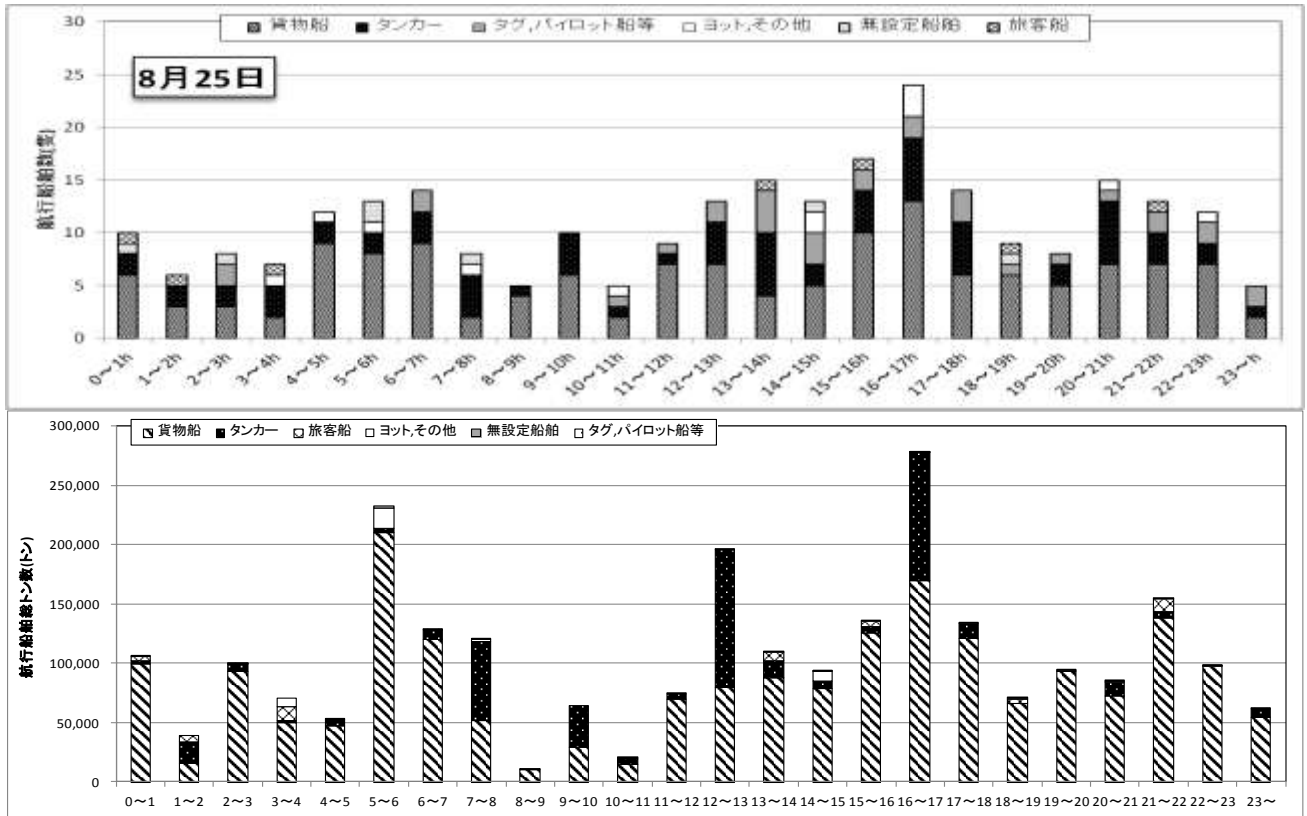


図 76 船舶航行隻数(上)及びそ総トン数(下) (8 月 25 日)

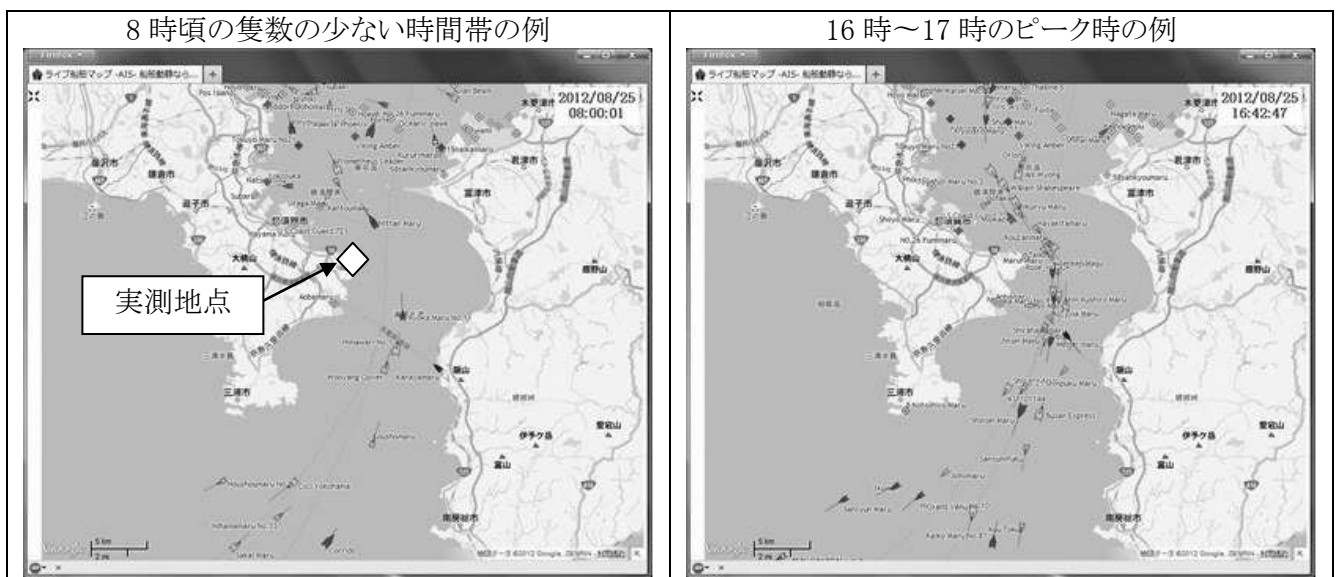


図 77 船舶ライブマップ画像(8 月 25 日)

8月25日の気象、大気汚染物質濃度、船舶航行隻数の特徴を表54に示す。4～7時にかけて40隻近くの船舶が実測地点の近くを通過しており、その1時間～2時間後(午前7時～9時)にNO、NO₂、SO₂の顕著な連続したピークが見られた。また、Sulfateのピークはこれらのピークから約30分程度遅れて10時頃に見られた。この時の風は、北よりの弱い風または静穏であった。その後、午前10時頃から南寄りのやや強い風が吹き始めるとともにピークが見られなくなる。この間、7時～12時頃までは船舶の航行隻数が少ない。16～17時に大量の船舶が通過しており、その1時間後にNO、NO₂、SO₂のピークが見られた。それ以降、NO、SO₂、特にNO₂に顕著な連続したピークが見られた。この間、風速2m/s程度の南風が卓越している。

表54 各項目の比較(8月25日)

時刻		気象(風)	大気汚染物質濃度	船舶航行量
0時	～ 1時	北西の風、静穏		10隻(106,300トン)
1時	～ 2時		NOピーク大(25ppb) NO ₂ ピーク大(10ppb) SO ₂ ピーク小(5ppb)	
2時	～ 3時			
3時	～ 4時	風向急変(南→北)0.5m/s		
4時	～ 5時		NOピーク大(25ppb)	12隻(53,000トン)
5時	～ 6時			13隻(232,600トン)
6時	～ 7時			14隻(128,400トン)
7時	～ 8時		NO連続ピーク大(40ppb) SO ₂ 連続ピーク小(5ppb)	
8時	～ 9時		NO連続ピーク大(40ppb) NO ₂ ピーク小(10ppb) SO₂ピーク大(20ppb) Sulfateピーク中(1.5μg/m ³)	
9時	～ 10時		風向急変(北→南) 風速増加(0.5→2m/s)	Sulfateピーク中(2.0μg/m³)
10時	～ 11時			
11時	～ 12時	NOピーク小(10ppb) NO ₂ ピーク小(10ppb)		
12時	～ 13時			13隻(195,800トン)
13時	～ 14時	NOピーク小(10ppb) NO ₂ ピーク小(10ppb)		15隻(109,600トン)
14時	～ 15時			13隻(94,000トン)
15時	～ 16時			17隻(136,000トン)
16時	～ 17時			24隻(278,400トン)
17時	～ 18時	NOピーク大(30ppb) NO₂ピーク大(20ppb) SO ₂ ピーク小(10ppb)		14隻(134,500トン)
18時	～ 19時	風速減少(2m/s→静穏)		NO ₂ 連続ピーク小(10ppb)
19時	～ 20時			
20時	～ 21時			15隻(85,200トン)
21時	～ 22時	風向急変(南→北北西)	NOピーク中(15ppb) NO ₂ ピーク小(10ppb)	13隻(154,900トン)
22時	～ 23時			12隻(98,400トン)
23時	～ 24時			

注:()はピーク時の濃度を5ppb単位で示す。NO・NO₂・SO₂ >小:10～14ppb、中:15～19ppb、大:20ppb以上
Sulfate >小:1.0～1.4μg/m³、中:1.5～1.9μg/m³、大:2.0μg/m³。最も高濃度または航行隻数が多かった時間帯を太字で示した。航行隻数は1時間に10隻以上の場合のみ示した。

【 分析結果その2 9月8日 (ピーク有り) 】

NOのピークが最も高濃度となった9月8日の風況を図78に示す。朝鮮半島付近に低気圧があつて西に移動している。実測地点における風向・風速は、6時頃まではほぼ静穏となっているが、7時頃から風向が変わり始め、11時頃から2m/s以上の南風が卓越している。11時頃から2m/s以上の南風が卓越する傾向は8月25日と同じであった。

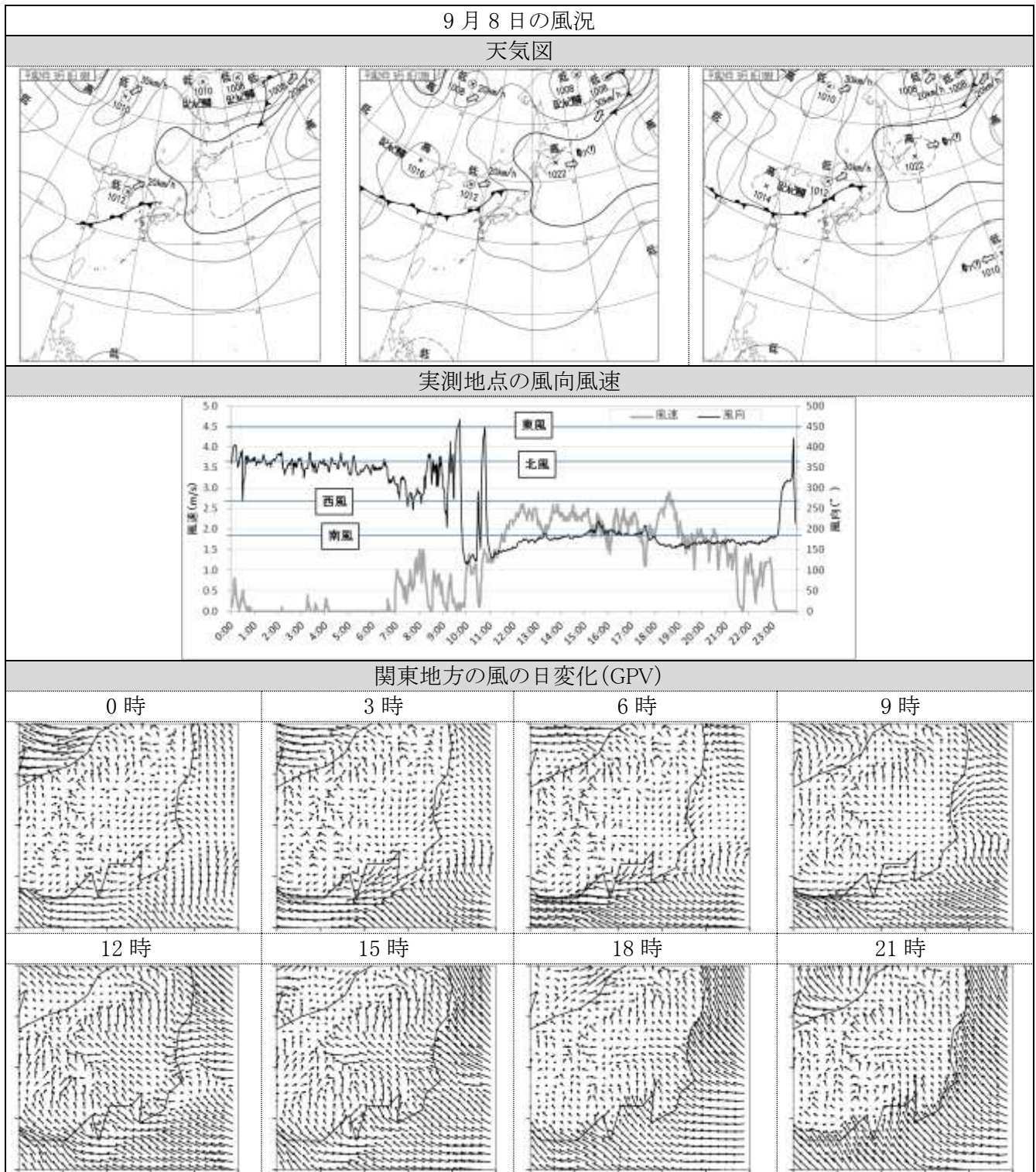


図78 9月8日の風況

9月8日のNO、NO₂、SO₂、Sulfate濃度の推移を図79に示す。6時～7時にかけてNO、NO₂、SO₂、8時～9時にかけてSulfateの顕著なピークが見られる。その後、いずれの物質も12時にかけて濃度が減少し、17時頃までは5ppb以下の低濃度で推移している。17時頃から再び連続的なピークが見られ、特にNO₂とSO₂のピークが顕著となっている。

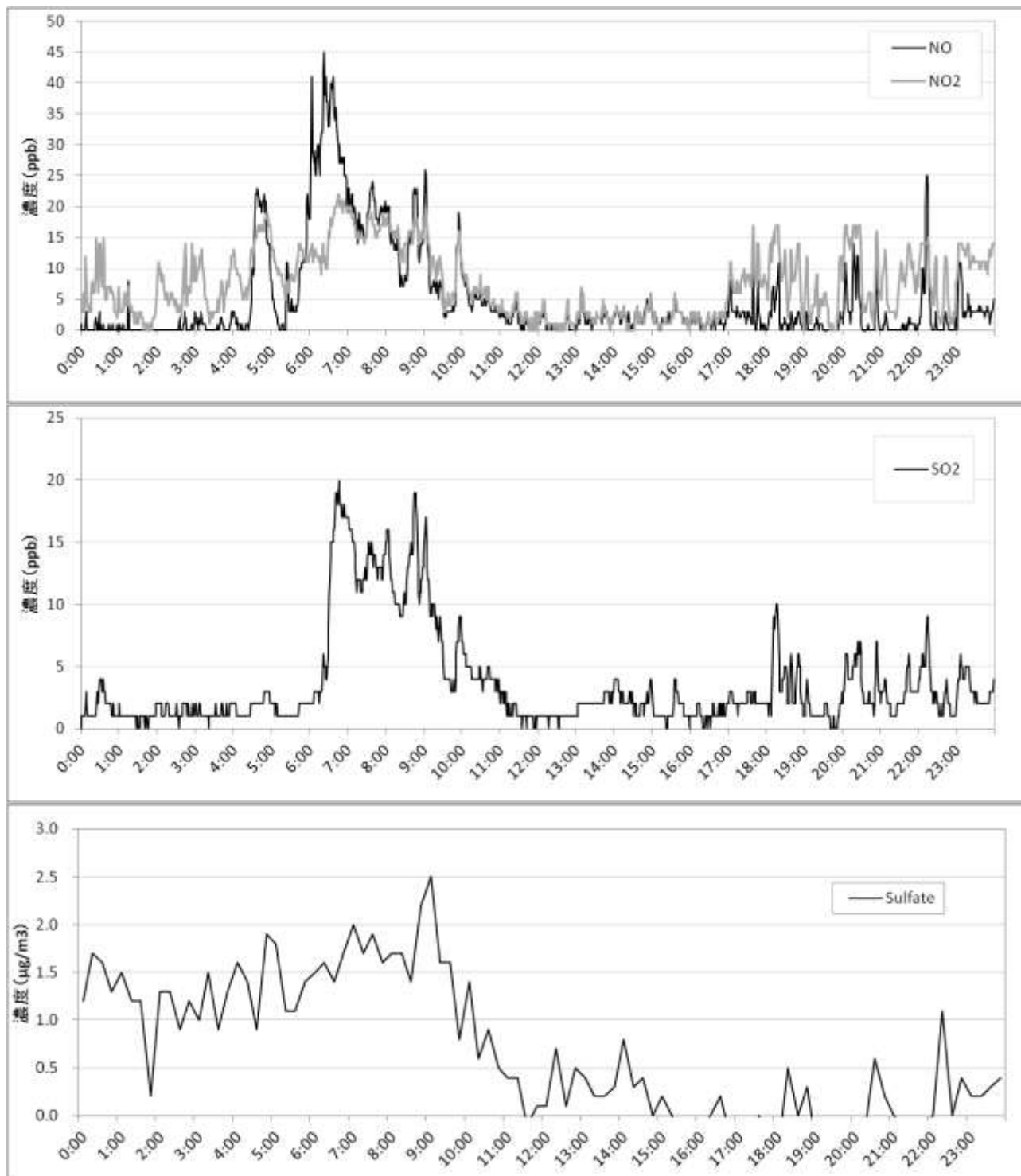


図79 大気汚染物質測定結果(9月8日)

船舶ライブマップによる実測地点の東側を通過した9月8日の船舶航行隻数の推移を図80に示す。4時～5時と17時～19時頃にピークを持つ二つ山の分布となった。これら2つのピーク時における船舶ライブマップの例を図81に示す。8月25日のピーク時程ではないが、多数の船舶が連続して通過していた様子が見られる。一方、船種別に見ると、貨物船が最も多いが、7～9時、14時～17時等は多くのタンカーが通過した。

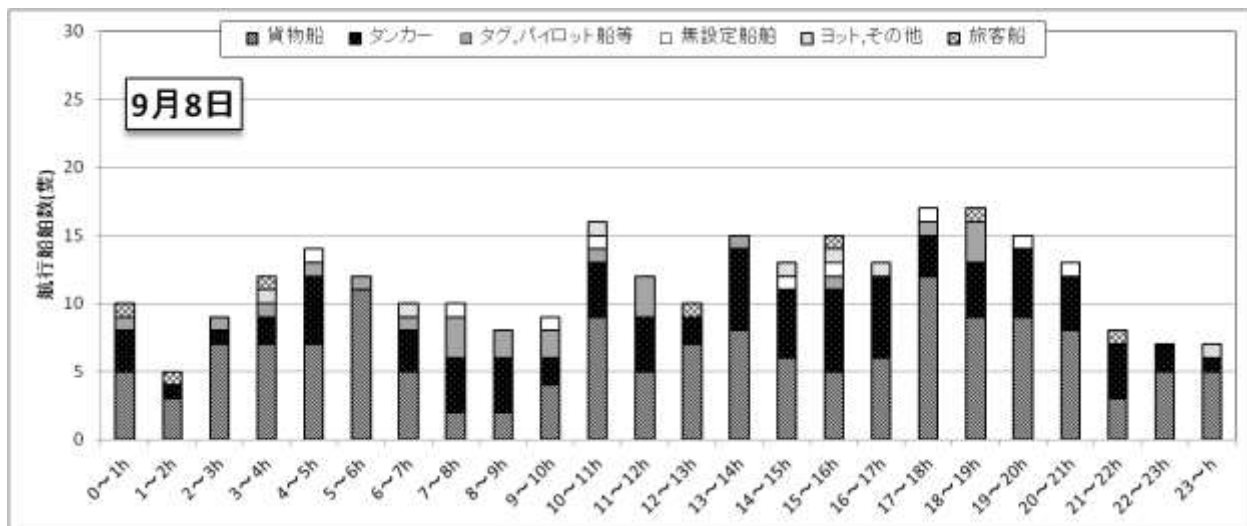


図80 船舶航行隻数(9月8日)

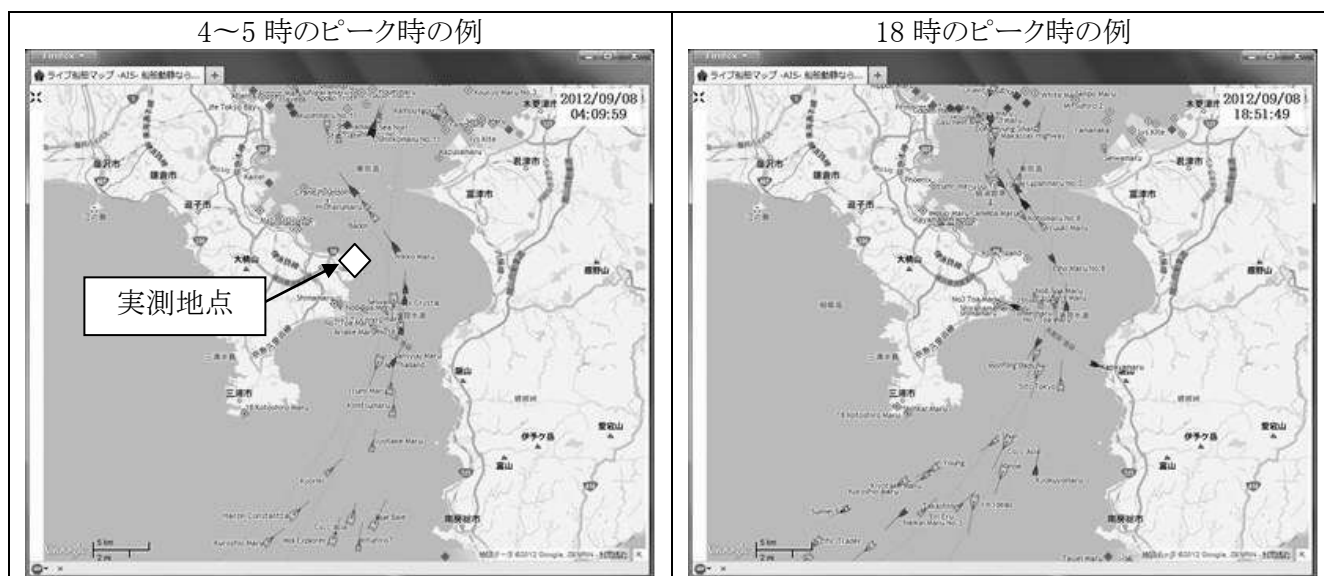


図81 船舶ライブマップ画像(9月8日のピーク時)

9月8日の気象、大気汚染物質濃度、船舶航行隻数の特徴を表55に示す。風の日変化パターンは8月25日とほぼ同じであり、午前中は静穏又は弱風、昼頃から南寄りの風が卓越していた。3時～6時頃に航行隻数が多く、それに対応するように6時頃にNO等のピークが見られる。その後、南風が卓越するとともに濃度が下がり、ピークが殆ど見られなくなった。また、この日は深夜から明け方にかけて、17時頃から深夜にかけて、特にNO₂、SO₂、Sulfateの小刻みな連続したピークが見られた。

表 55 各項目の比較(9月8日)

時刻	気象(風)	大気汚染物質濃度	船舶航行量
0時～1時	北よりの風(静穏)	NO ₂ ピーク小(10ppb) Sulfateピーク中(1.5 μg/m ³)	10隻
1時～2時		NO ₂ ピーク小(10ppb) Sulfateピーク中(1.5 μg/m ³)	
2時～3時		NO ₂ ピーク小(10ppb) Sulfateピーク小(1.0 μg/m ³)	
3時～4時		NO ₂ ピーク小(10ppb) Sulfateピーク中(1.5 μg/m ³)	12隻
4時～5時		NOピーク大(20ppb) NO ₂ ピーク中(15ppb) Sulfateピーク中(1.5 μg/m ³)	14隻
5時～6時		NOピーク大(20ppb) NO ₂ ピーク小(10ppb) Sulfateピーク中(1.5 μg/m ³)	12隻
6時～7時	風向変化(北→北西) 風速増加(静穏→1m/s)	NOピーク大(45ppb) NO₂ピーク大(20ppb) SO₂ピーク大(20ppb)	10隻
7時～8時	風向変化(北西→西)	NOピーク大(25ppb) NO ₂ ピーク大(20ppb) SO ₂ ピーク中(15ppb) Sulfateピーク中(1.5 μg/m ³)	10隻
8時～9時	風向変化(西→北)	NOピーク大(25ppb) NO ₂ ピーク大(20ppb) SO ₂ ピーク中(15ppb) Sulfateピーク大(2.5 μg/m³)	
9時～10時	風向急変(北→北東)	NOピーク中(15ppb) NO ₂ ピーク中(15ppb) Sulfateピーク小(1.0 μg/m ³)	
10時～11時	風向急変(北東→南) 風速増加(1→2m/s)		16隻
11時～12時			12隻
12時～13時			10隻
13時～14時			15隻
14時～15時			13隻
15時～16時			15隻
16時～17時			13隻
17時～18時		NO ₂ ピーク小(10ppb)	17隻
18時～19時		NO ₂ ピーク中(15ppb) SO ₂ ピーク小(10ppb)	17隻
19時～20時		NO ₂ ピーク小(10ppb)	15隻
20時～21時		NOピーク小(10ppb) NO ₂ ピーク中(15ppb)	13隻
21時～22時		NO ₂ ピーク小(10ppb)	
22時～23時	風向急変(南→北西) 風速減少(1m/s→静穏)	NOピーク大(25ppb) NO ₂ ピーク小(10ppb) SO ₂ ピーク小(10ppb)	
23時～24時		NO ₂ ピーク小(10ppb)	

注:()はピーク時の濃度を5ppb単位で示す。NO・NO₂・SO₂ >小:10～14ppb、中:15～19ppb、大:20ppb以上
Sulfate >小:1.0～1.4 μg/m³、中:1.5～1.9 μg/m³、大:2.0 μg/m³。最も高濃度または航行隻数が多かった時間帯
を太字で示した。航行隻数は1時間に10隻以上の場合のみ示した。

【 分析結果その3 9月2日 (ピーク無し)】

ピークが見られなかった日の例として、9月2日を対象にケーススタディを行った。図 82 に風況を示す。この日は、北方領土付近に一日中高気圧が位置しており、実測地点においても航路と反対方向からの風(西～北の風、約 1m/s)が終日吹いていた。ピーク有りの日に見られたような、昼頃から南風が卓越することはない。

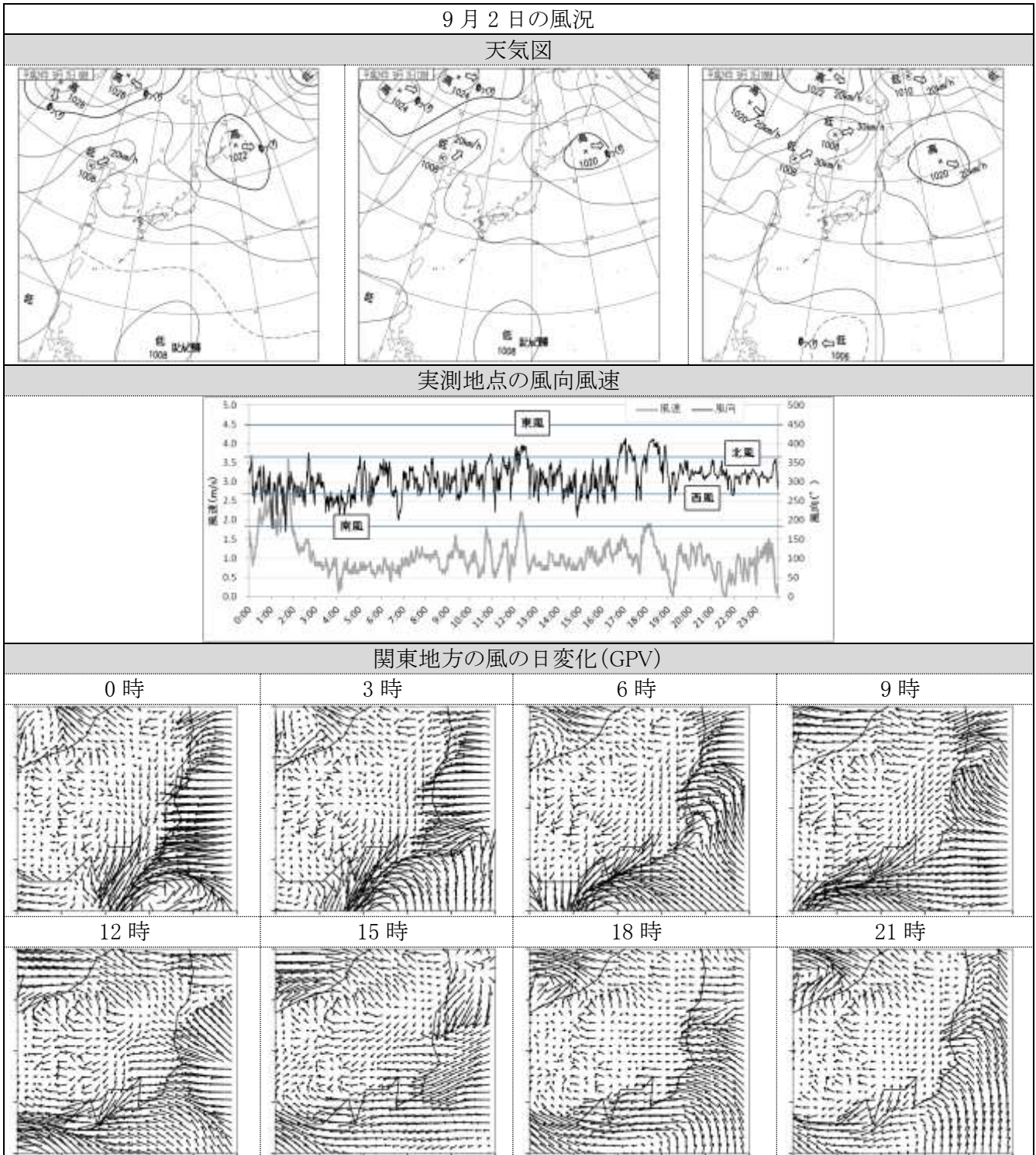


図 82 9月2日の風況

9月2日のNO、NO₂、SO₂、Sulfate濃度の推移を図83に示す。NO₂は終日15ppb以下の細かいピークが多数見られるが、その他の物質は殆んどピークが見られない。NOやSO₂、Sulfate濃度に見られた午前中の顕著なピークも全く見られない一方で、21時～23時にかけてNO₂及びSO₂の濃度上昇が見られた。

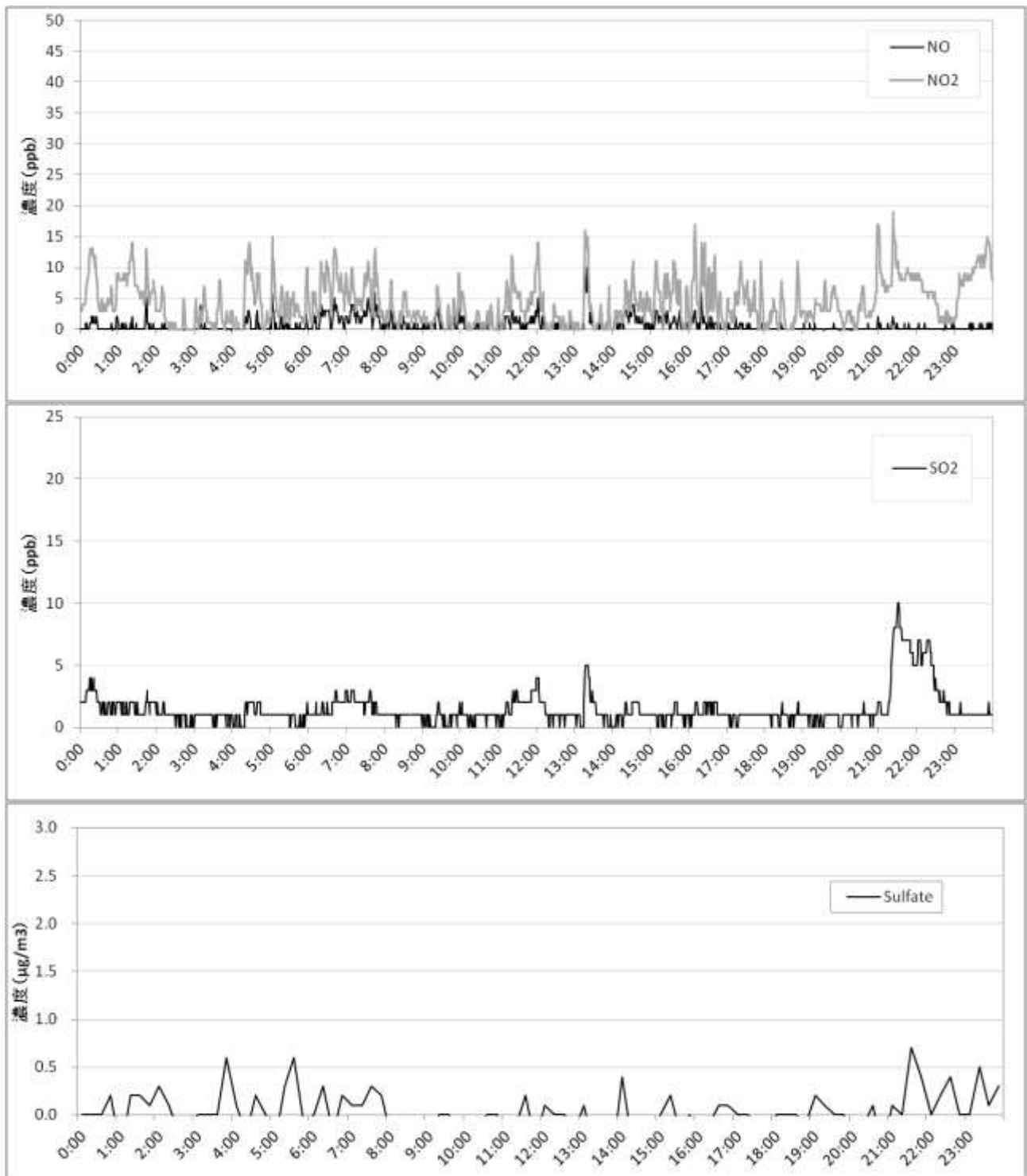


図83 大気汚染物質測定結果(9月2日)

船舶ライブマップによる実測地点の東側を通過した9月2日の船舶航行隻数の推移を図84に示す。船舶の航行隻数はピーク有りの日と同程度であり、6時～7時頃の航行量のピーク時には隊列を組んで船舶が航行している様子が見られる(図85)。一方、船種別に見ると、ピーク有りの日と比べて貨物船が少なく、その分タンカーが多くなっている。特に9時以降はその差が顕著となっている。

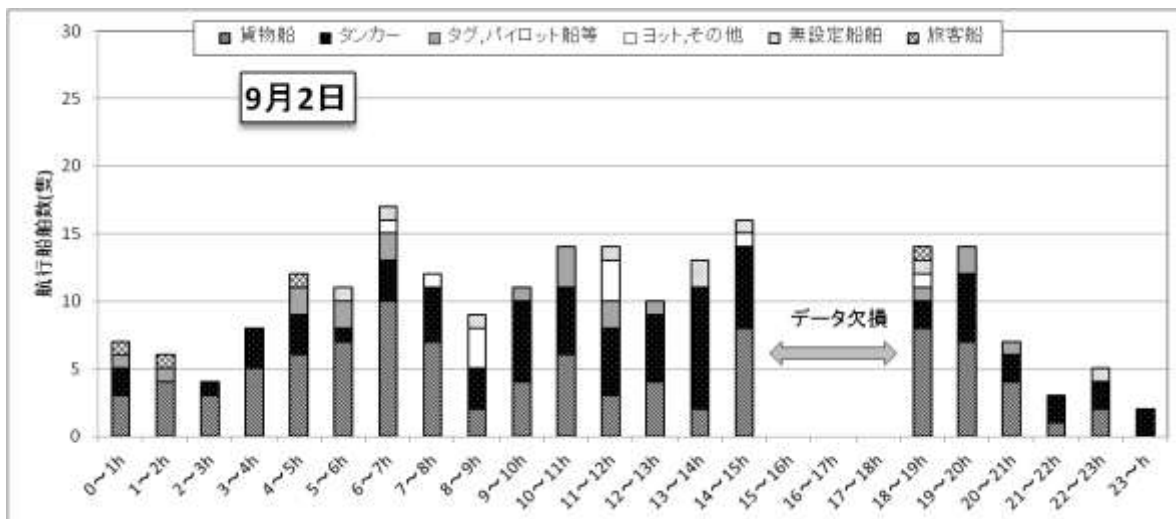


図84 船舶航行隻数(9月2日)

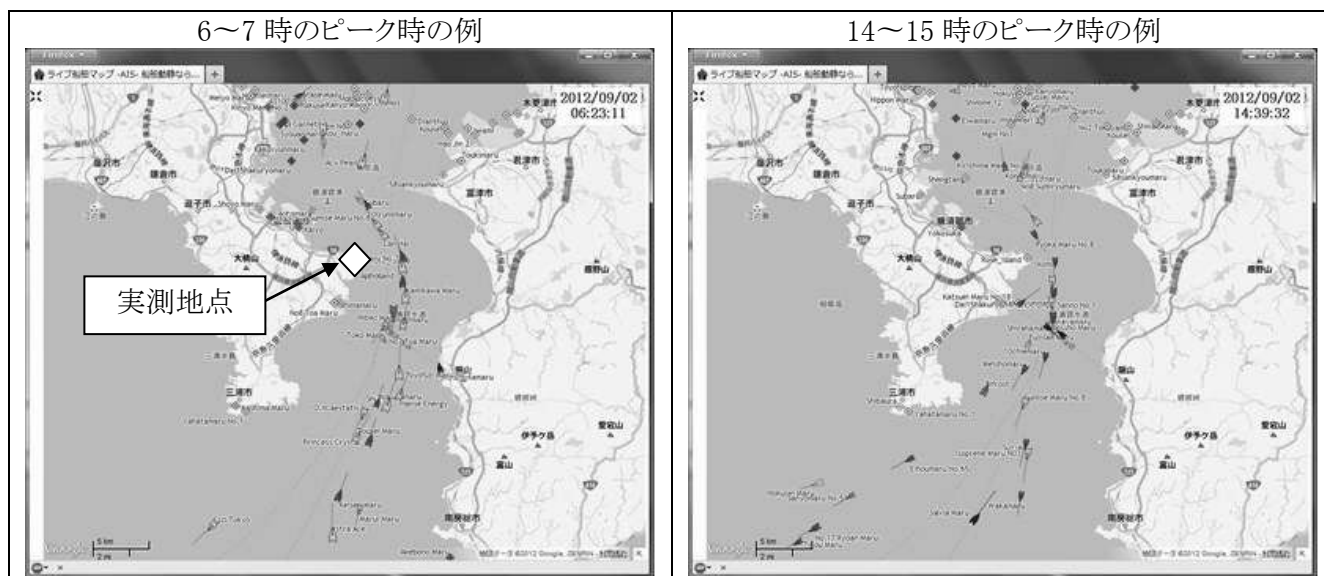


図85 船舶ライブマップ画像(9月2日のピーク時)

9月2日の気象、大気汚染物質濃度、船舶航行隻数の特徴を表56に示す。NO₂の細かいピークが多数見られるものの、濃度と航行隻数、気象条件との間に関連性は見られなかった。

表56 各項目の比較(9月2日)

時刻			気象(風)	大気汚染物質濃度	船舶航行量
0時	～	1時	北～西の風 風速 2.5m/s	NO ₂ ピーク小(10ppb)	
1時	～	2時		NO ₂ ピーク小(10ppb)	
2時	～	3時	風速減少(2.5→1.0m/s)		
3時	～	4時		NO ₂ ピーク小(10ppb)	
4時	～	5時			12隻
5時	～	6時			11隻
6時	～	7時		NO ₂ ピーク小(10ppb)	17隻
7時	～	8時		NO ₂ ピーク小(10ppb)	12隻
8時	～	9時			
9時	～	10時			11隻
10時	～	11時		NO ₂ ピーク小(10ppb)	14隻
11時	～	12時			14隻
12時	～	13時		NO ₂ ピーク小(10ppb)	10隻
13時	～	14時			13隻
14時	～	15時			16隻
15時	～	16時		NO ₂ ピーク小(10ppb)	※データ欠損
16時	～	17時			※データ欠損
17時	～	18時			※データ欠損
18時	～	19時			14隻
19時	～	20時			14隻
20時	～	21時			
21時	～	22時		NO ₂ ピーク小(10ppb)	
22時	～	23時			
23時	～	24時	NO ₂ ピーク小(10ppb)		

注:()はピーク時の濃度を5ppb単位で示す。NO・NO₂・SO₂ >小:10～14ppb、中:15～19ppb、大:20ppb以上

Sulfate >小:1.0～1.4μg/m³、中:1.5～1.9μg/m³、大:2.0μg/m³。

最も高濃度または航行隻数が多かった時間帯を太字で示した。航行隻数は1時間に10隻以上の場合のみ示した。

③ 考察

ア) ケーススタディ結果の整理

ケーススタディの結果を踏まえた、実測地点における「ピークが見られた日」の各種項目の時間変化を図86に示す。船舶航行状況は船舶ライブマップの他に(参考)に示した東京湾大型船入航予定情報を参考にした。第2回検討会における分析結果から得られた7～10時のピークに加え、17～21時頃に特にこれまで着目していなかったNO₂の顕著なピークが見られた。後半のピークは、午前のピークに比べて最大濃度は低いものの、数分間隔で連続して出現する傾向が見られた。

ここでは、これら2つのピークに対して一部追加の分析を行いつつ、継続的にピークが生じる要因について考察を行った。以降、7時～のピークを「午前のピーク」、17時～のピークを「午後のピーク」という。

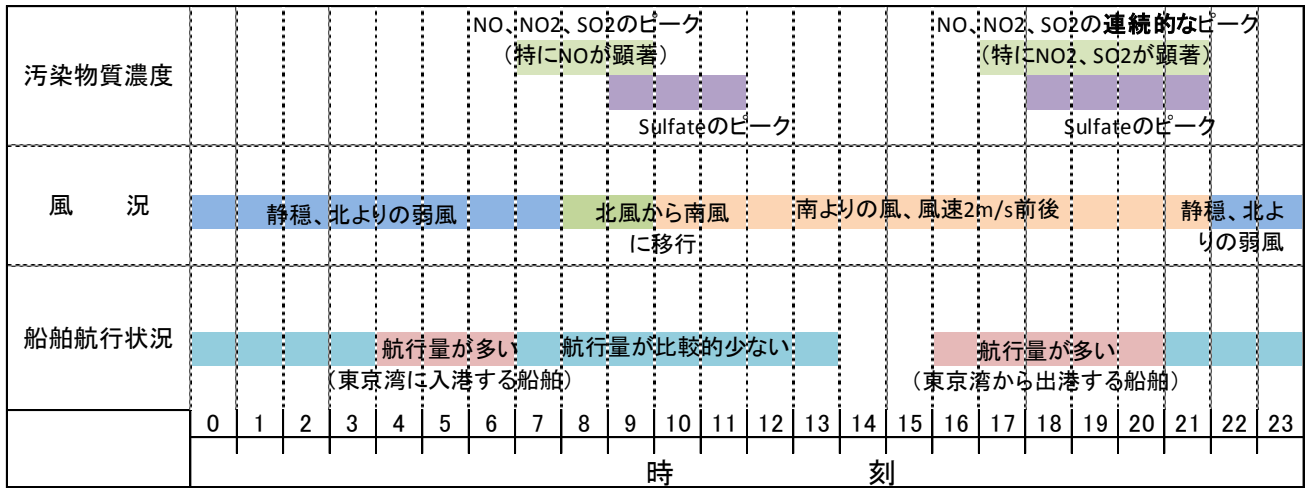
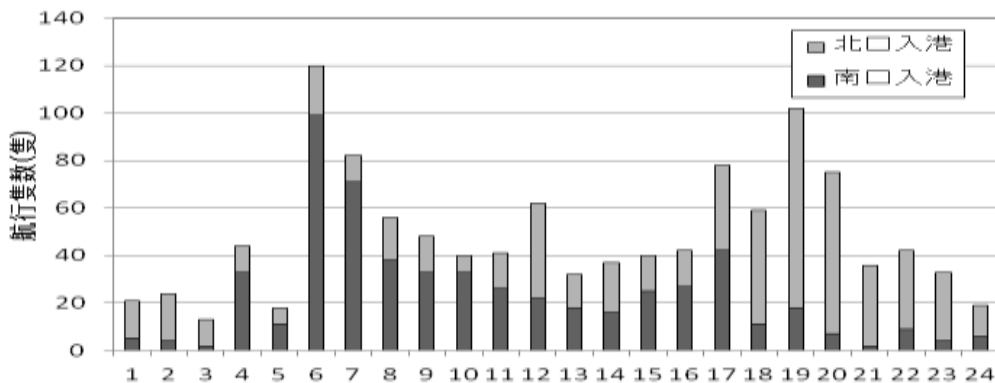


図86 風況、汚染物質濃度、船舶航行状況の時間変化(ピークが見られた日)

(参考) 大型船入航予定情報より算出した実測期間中の船舶航行量

算出方法の詳細は「3.3.2②か高濃度ピークに関する分析」参照。



注: 南口入港が東京湾に入る船舶、北口入港が東京湾から出る船舶。

参考図 大型船入航予定情報をもとに算出した実測地点前を通過する船舶の毎時積算値

1) 午前のピークに関する考察

ケーススタディでは、午前のピークが見られない日の例として9月2日を対象に分析を行った。9月2日は、終日航路方向と反対の風(西よりの風)が卓越していたため、航行中の船舶排ガスの影響を受けていない可能性が高く、その結果としてピークが生じなかったと推察される。他方、船舶の航行数は午前のピークが見られる日と同程度であったことから、船舶排ガスはある程度排出されていたと考えられる。

同様に西風が卓越した日の例として9月6日のNO、NO₂濃度および風向・風速を図87に示す。7時頃まで西寄りの風が卓越しており、NOの午前中のピークは見られない。その後、南風が卓越するが、夕方17時頃から北西～北の風にシフトしている。この北西風へのシフトの際に風速が1m/s程小さくなり、同時にNO₂の濃度が顕著に上昇していることから、風上側(北西方向)に位置する港湾や道路から排出されたNO₂が実測地点に到達している可能性が高い。

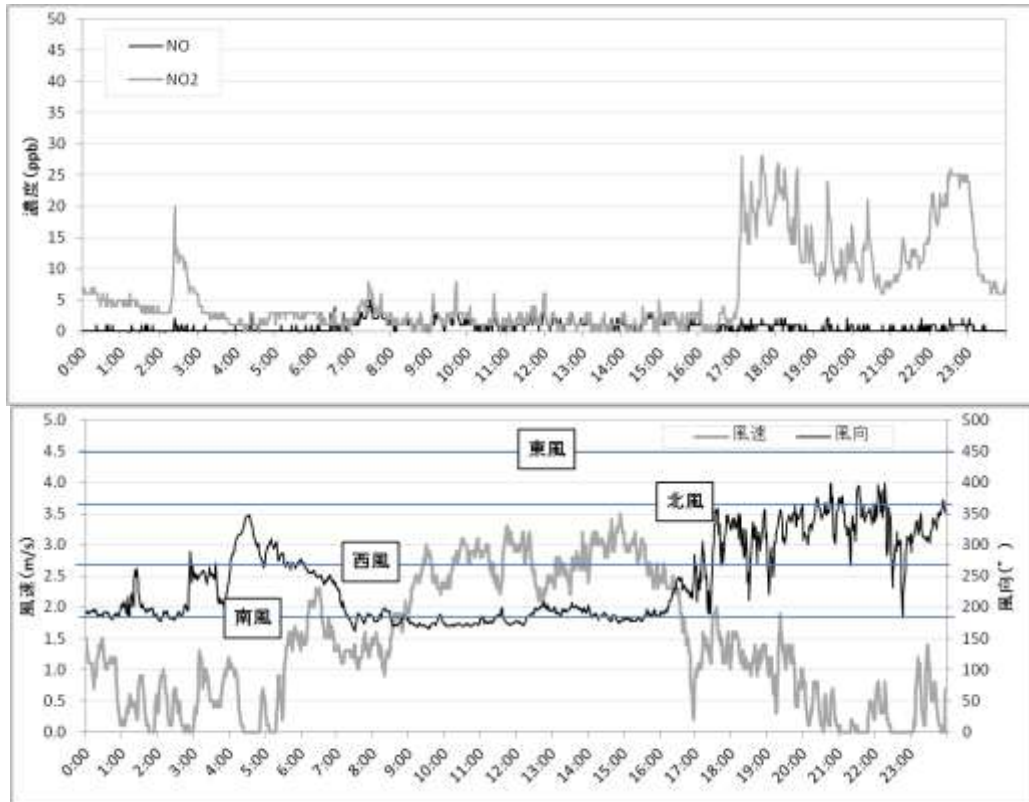


図 87 9月6日のNO・NO₂濃度(上)および風向・風速(下)

いずれにしても、航路方向と反対側(西側)から風が吹く際にはNOやSO₂、Sulfateのピークが見られないことから、午前中の顕著な濃度上昇は船舶排ガスによる可能性が高いと考えられる。

【分析により得られた知見】

- ・ 船舶の航行隻数がある程度あったとしても、航路方向と反対側(西側)からの風が卓越する場合、午前のピークは見られない。
- ・ 実測地点における大気汚染物質濃度は風向に強く依存する。

次に、ケーススタディの結果から整理された情報を基に、考える要因を抽出し、検証を行った。まず、船舶の航行状況を見ると、4時～6時にかけて航行量の多い時間帯が見られる。この時間帯が午前ピーク出現時間の直前であることから、ここでの排ガスが実測地点に到達している可能性が高いと考えられる。次に、排ガスが実測地点に到達するまでのプロセスを把握するため、風況を確認した。航行量の多い時間帯～午前ピークが終了する間に、実測地点の風は静穏・北よりの弱風から南風に移行している。このことから、図88に示した3とおり(①～③)の移流・拡散プロセスが考えられる。

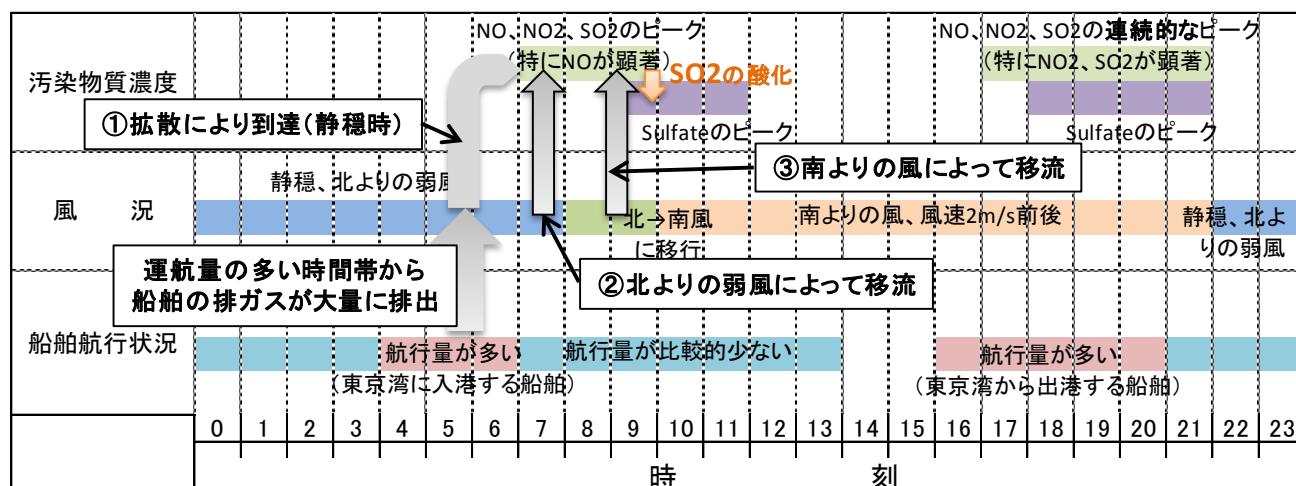
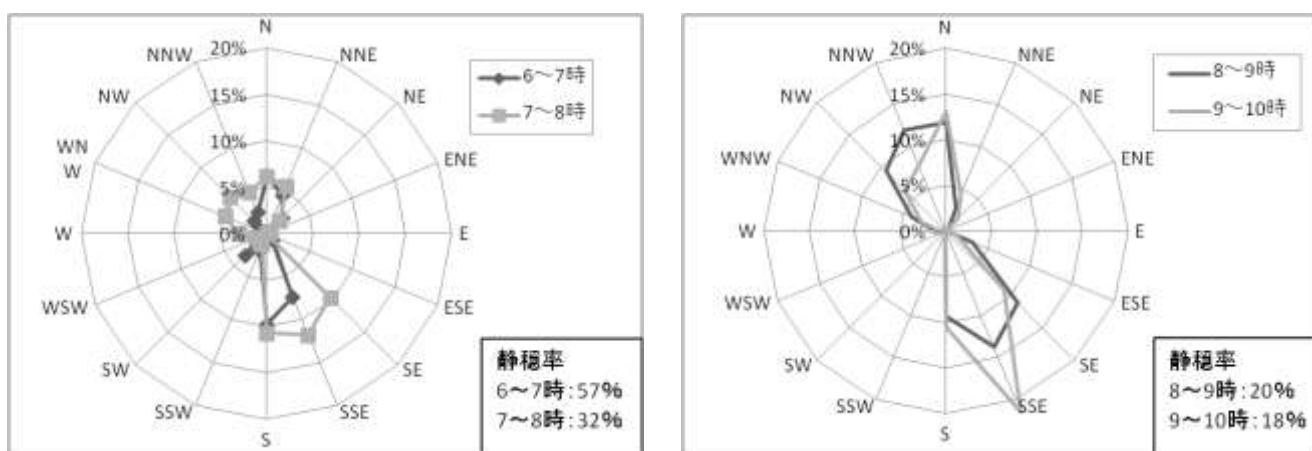


図 88 午前ピークに影響を与えると考えられる船舶排ガスの移流・拡散プロセス

これらの移流プロセスに係る風向が、実測地点においてどの程度発生しているのかを把握するため、ピークが見られた日(実測期間 16 日中、ピークが見られた 12 日間を対象とした)の風向別の発生頻度をプロットした(図 89)。その結果、風向は北よりと南南西の二通りに明確に分かれる結果となった。この集計は、午前ピークが見られた日のみを対象に行ったことから、これらの風向あるいは静穏の時のみ午前ピークが生じると言い換えることができる。静穏は7時頃までは静穏率が約6割を占めるが、時間とともに低くなり9時過ぎには20%より小さくなっている。



注: データの集計は実測期間 16 日のうち、午前ピークが見られた 12 日間を対象とした。

図 89 実測地点における風向別発生頻度

ここまでの試行結果から、午前のピークは風向に強く依存し、4～6時の航行量が多い時間帯に排出された排ガスが、北寄りの風および南南西風による移流、静穏時の拡散によって実測地点の大気環境に影響を与える可能性が示唆された。ここで、実測地点周辺の環境を見ると(図90)、北～北西方向は、港湾や工業地帯、発電所等の発生源があり、それらの影響を受けている可能性がある。逆に、南東方向は顕著な発生源が無いことから船舶の排ガスを受けている(船舶の排ガスによって決まる)可能性が高いと考えられる。

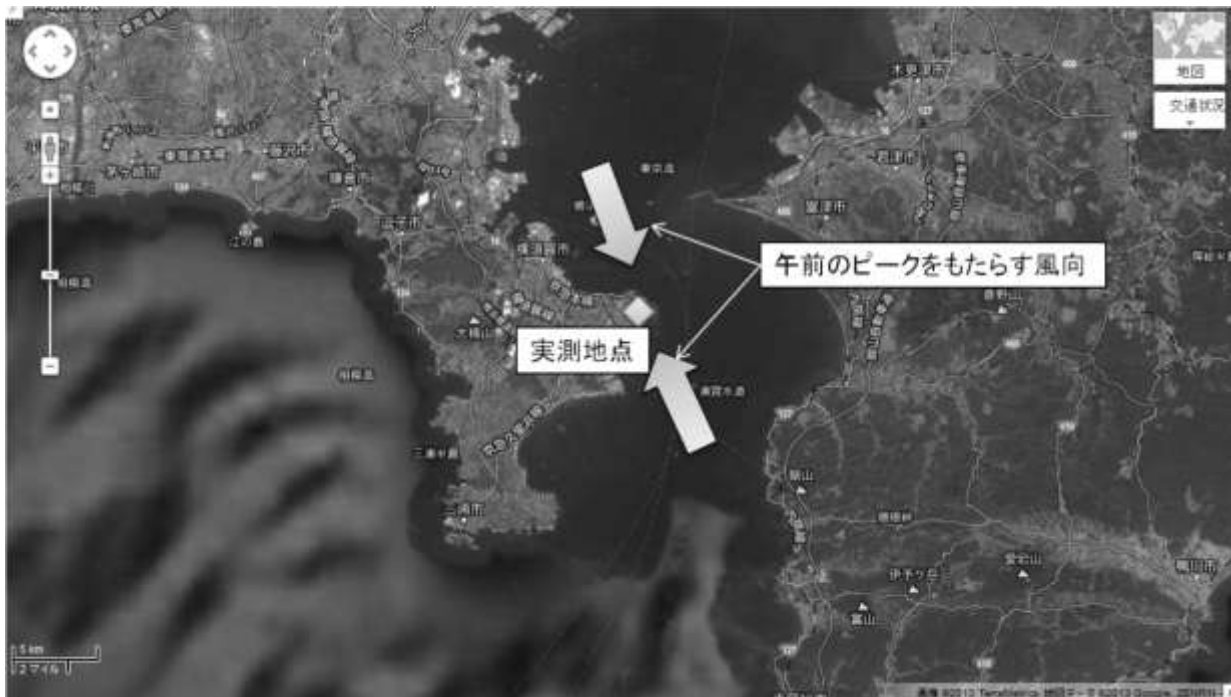


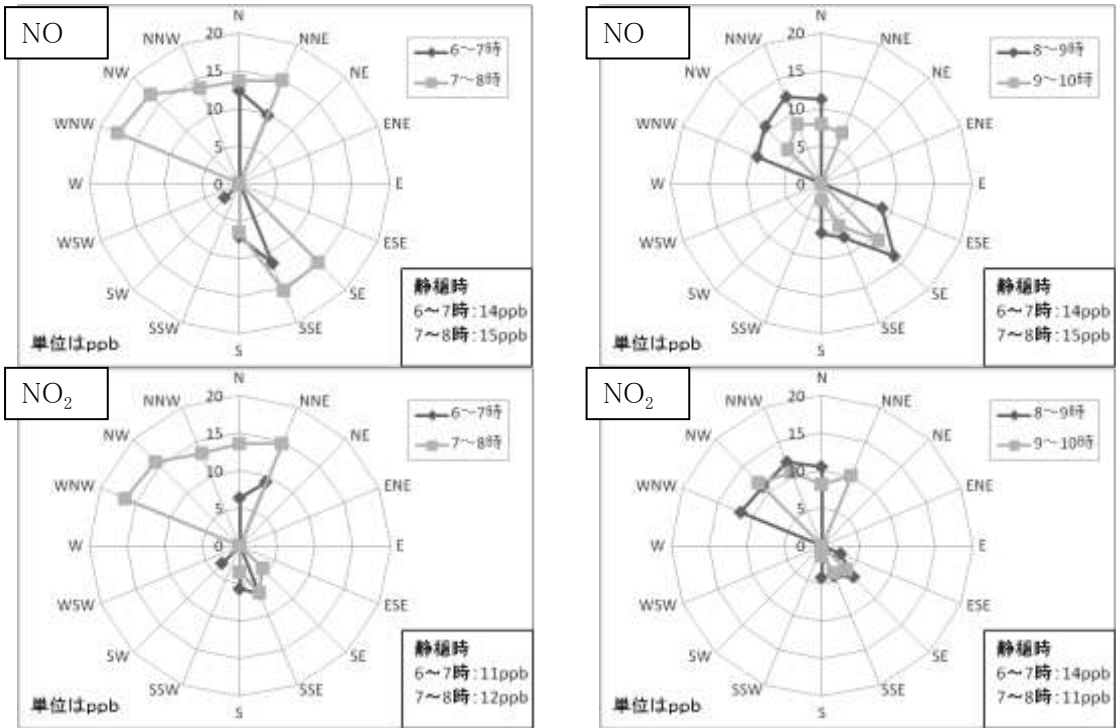
図90 実測地点と午前のピークをもたらす風向

航行船舶以外の発生源の影響を把握するため、風向別濃度分布をプロットした(図91)。NOは、7～8時に西北西や北西方向から風が吹く際に高濃度となる傾向があるが、最も多くピークが見られた8時には、南東方向からの風吹いた場合に最も高濃度となっている。

NO₂は、NOと異なり北北東～西北西風が卓越した場合のみ顕著に高くなる傾向が見られた。つまり、午前のピークの要因となる北寄りの風と南寄りの風は、NO/NO₂比が大きく異なり、両者は異なる発生源の影響を受けている可能性が高い。そこで、内陸の大気汚染状況を把握するため常時監視局測定値(一般局)を確認した(図92)。NO₂は港湾、工場、道路等が集中する東京湾の西側(東京～神奈川方面の沿岸部)で顕著に濃度が高く、この付近で発生した大気汚染物質が北寄りの風によって移流して実測地点に影響を与えている可能性が高い。

【分析により得られた知見】

- ・ 午前のピークは、北西よりの風と南東よりの風が卓越する際に発生する。
- ・ 北西よりの風が卓越する場合、風上側に港湾や工場等の航行中の船舶以外の発生源が多くあり、これらの影響を受ける可能性がある。
- ・ 逆に、南東よりの風が卓越する場合は、風上側に顕著な発生源がなく、実測地点の南側を通過する船舶排ガスの影響により、濃度変化が生じる可能性が高い。



注:発生頻度が3%以上(1日あたり1分以上に相当)の風向のみを示す。

図 91 実測地点における風向 NO 濃度分布(午前のピーク出現日のみ)

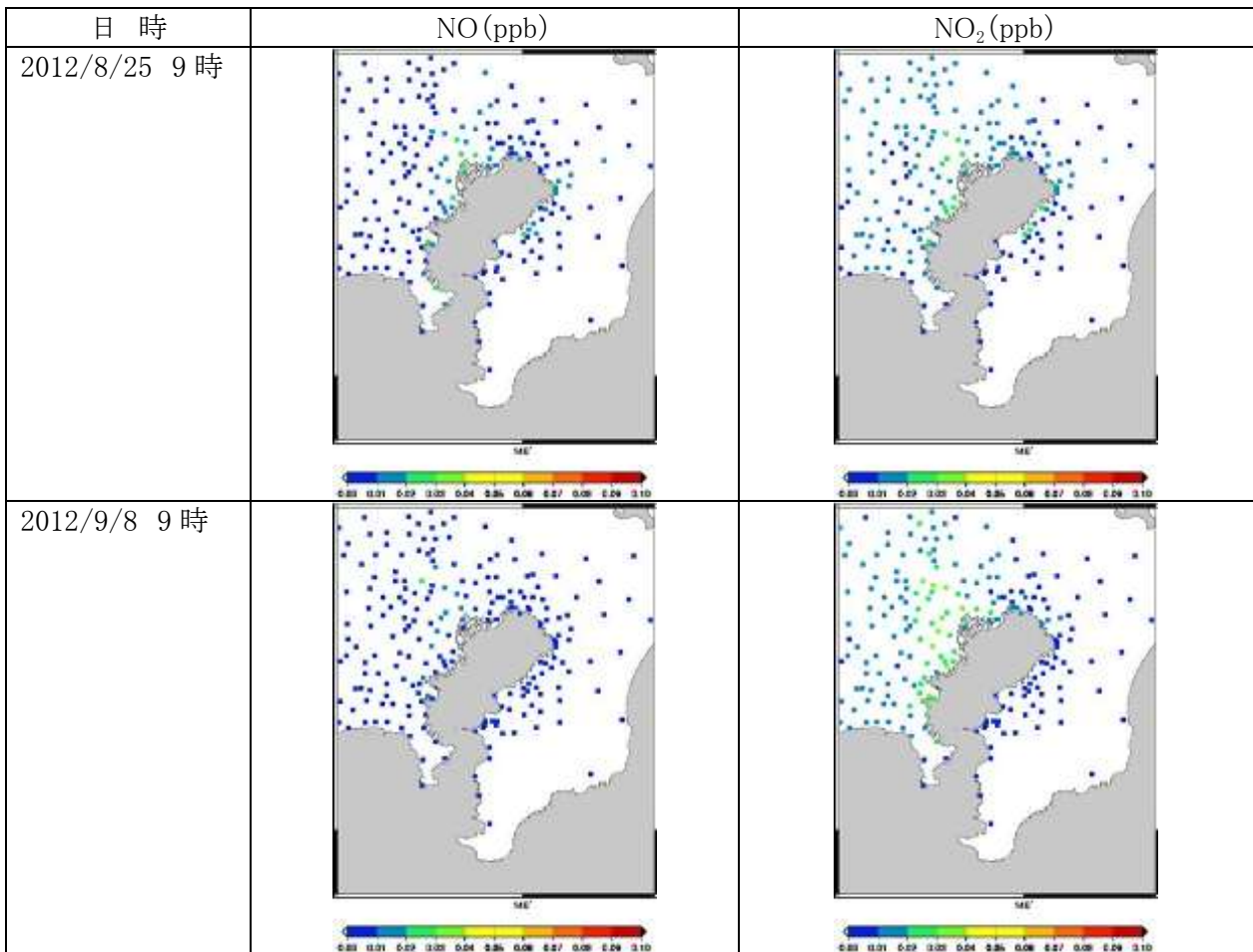


図 92 東京湾周辺の NO、NO₂ 濃度分布(一般局のみ)

ウ) 午後のピークに関する考察

午前とのピークほどシャープではないが、15 時ごろからの航行量増加に対応するように NO、NO₂ 等のピークが見られた(図 93、図 94)。この時間帯(16~20 時)の風向別発生頻度を見ると(図 89)、南風が卓越することが非常に多く(図 95)、前述した午前とのピークの南よりの風卓越時と同様に風上側に顕著な固定発生源が無いことから航行中の船舶排ガスの影響を受けている可能性が高いと考えられる。

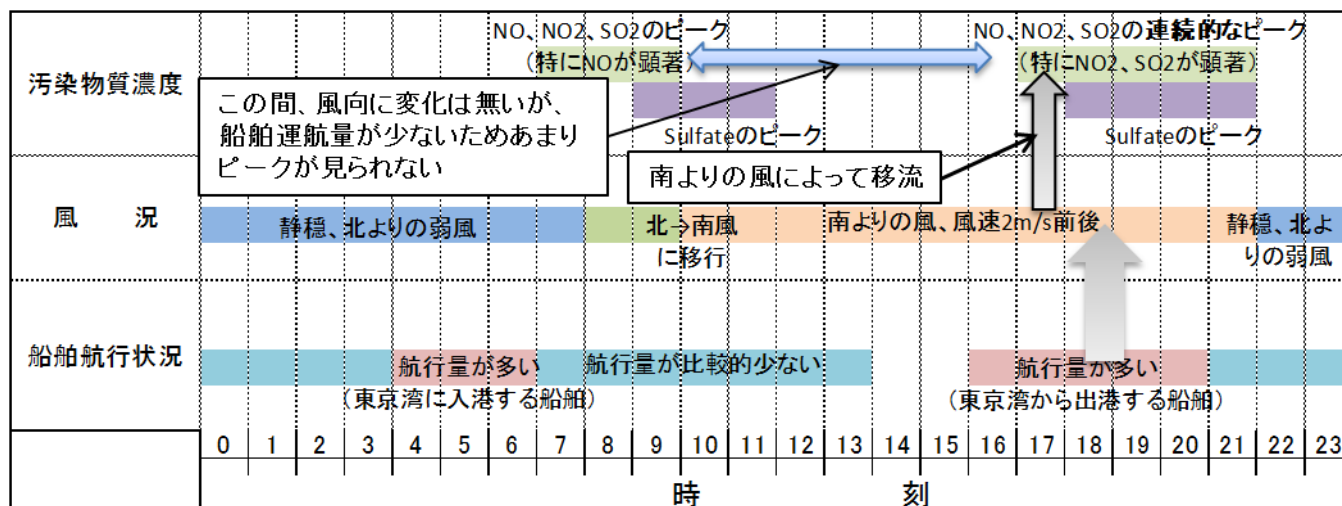


図 93 午後のピークに影響を与えると考えられる船舶排ガスの移流・拡散プロセス

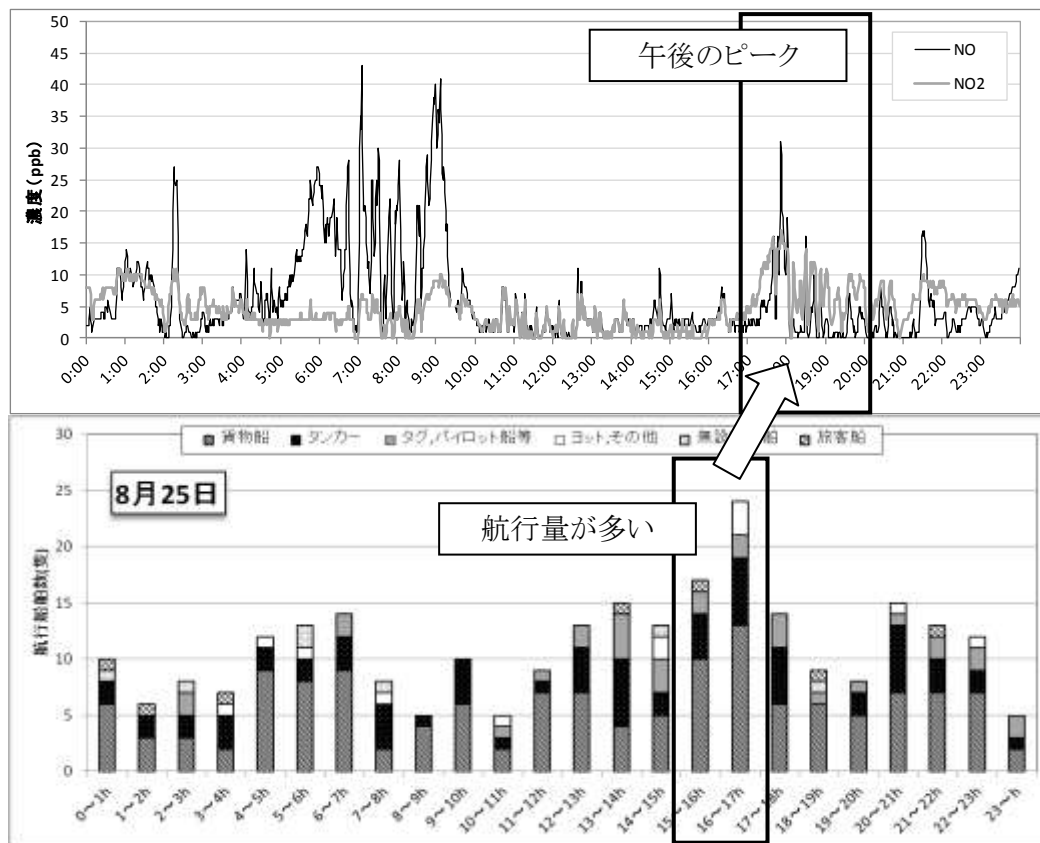
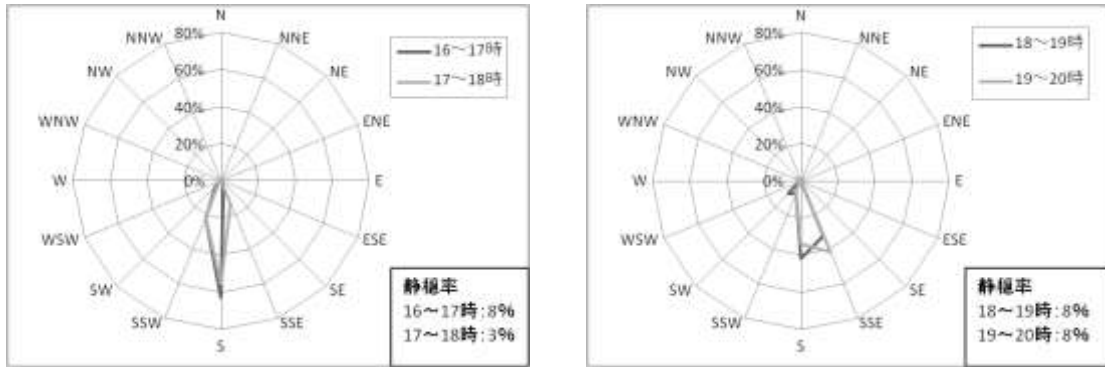


図 94 NO、NO₂ 濃度と船舶航行実績の比較(8月 25 日、図 75、図 76 再掲)



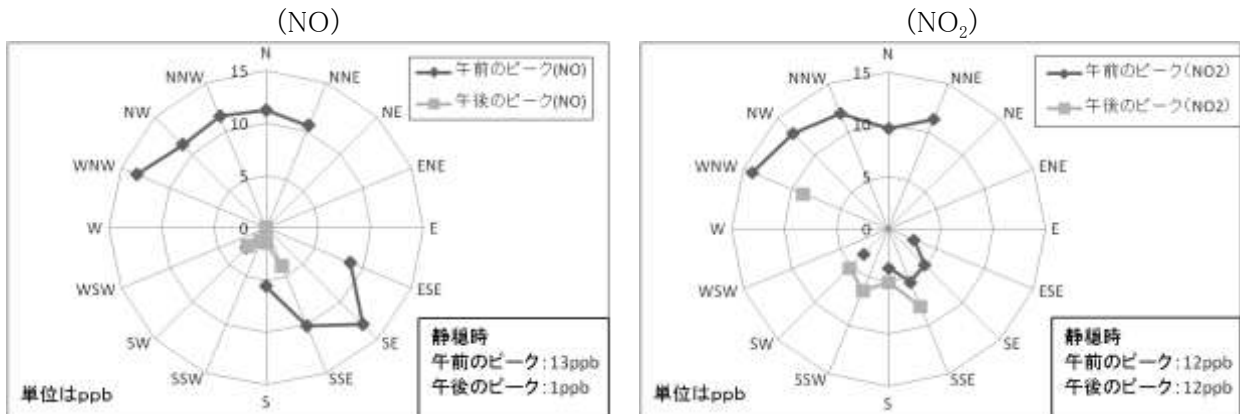
注:データの集計は実測期間 16 日のうち、午後のピークが見られた 12 日間を対象とした。

図 95 実測地点における風向別発生頻度

午前のピークの比較結果を表 57 に示す。航行する船舶は、入港／出港の違いがある。また、午後のピークの風向は午前のピークの南寄りの方が卓越する時よりも真南に近い風が多くなっている(南東方向は殆ど吹かない)。また、午前のピークで見られた NO は、午後のピークでは殆んど見られなかったが、NO₂は午前のピークよりも高濃度となった(図 96)。

表 57 午前のピークと午後のピークの比較

比較項目		午前のピーク	午後のピーク
風	風向	・南～南東(南南東が最多) ・北～北西(北が最多)	南南西～南南東(南が最多)
	風速	0.8m/s(6～10 時平均)	2.0m/s(16～19 時平均)
船舶航行状況		東京湾に入港する船舶が多い	東京湾から出港する船舶が多い
ピークが見られる物質 (図 96 参照)		NO、SO ₂ 、Sulfate、(NO ₂) ※NO ₂ は北風卓越時のみ見られる	NO ₂ 、SO ₂ 、Sulfate



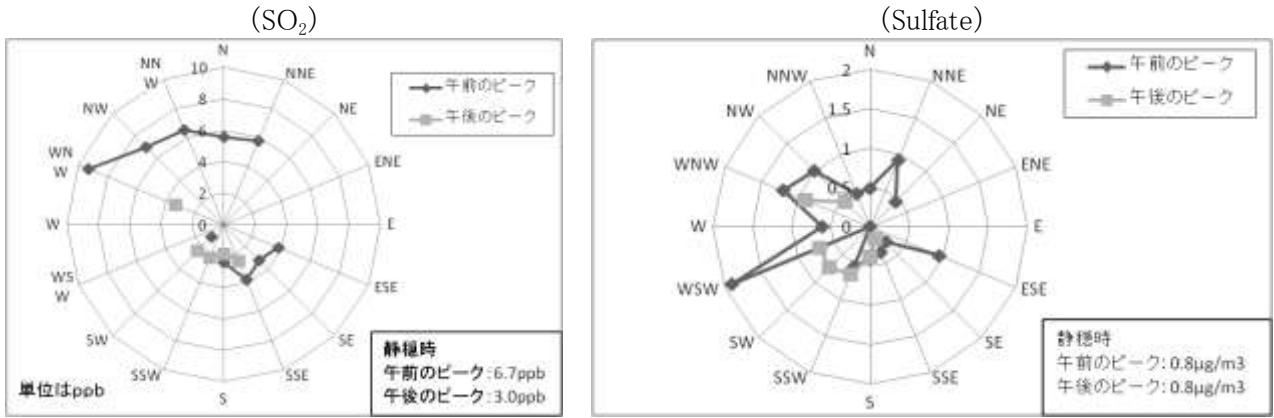
注:データの集計は実測期間 16 日のうち、午後のピークが見られた 12 日間を対象とした。

注:発生頻度が 3%以上(1 日平均 1 分)の風向のみを示す。

注:データの集計対象時間は、午前のピークが 6～10 時、午後のピークが 16～20 時とした。

図 96 午前のピークと午後のピークの比較(風向別 NO、NO₂ 濃度)

SO₂及び Sulfate のピーク出現時刻における風向別濃度を図 97 に示す。SO₂の午前ピーク出現時は、北～北西の風が吹く際に顕著に高くなっている。これは、北西方向にある横須賀港等の港湾施設からの排出の影響を受けている可能性がある。Sulfate 濃度はこれまでの分析により、ピークが遅れることが確認されているため、厳密には風向と対応していない可能性があるが、午後のピーク出現時は南西方向の風が卓越する際に濃度が高くなる傾向が見られた。



注:データの集計は実測期間 16 日のうち、午後のピークが見られた 12 日間を対象とした。
 注:発生頻度が 3%以上(1 日平均 1 分)の風向のみを示す。
 注:データの集計対象時間は、午前のピークが 6～10 時、午後のピークが 16～20 時とした。

図 97 午前のピークと午後のピークの比較(風向別 SO₂、Sulfate 濃度)

その他、午前と午後のピークで差が生じる要因としては、通過する船舶の種類、大きさの違いが考えられる。船舶ライブマップより得られた、時間別総トン数を図 69 に示す。9 月 8 日の午前は、ピークが出現する直前に大型のタンカーが通過していた。

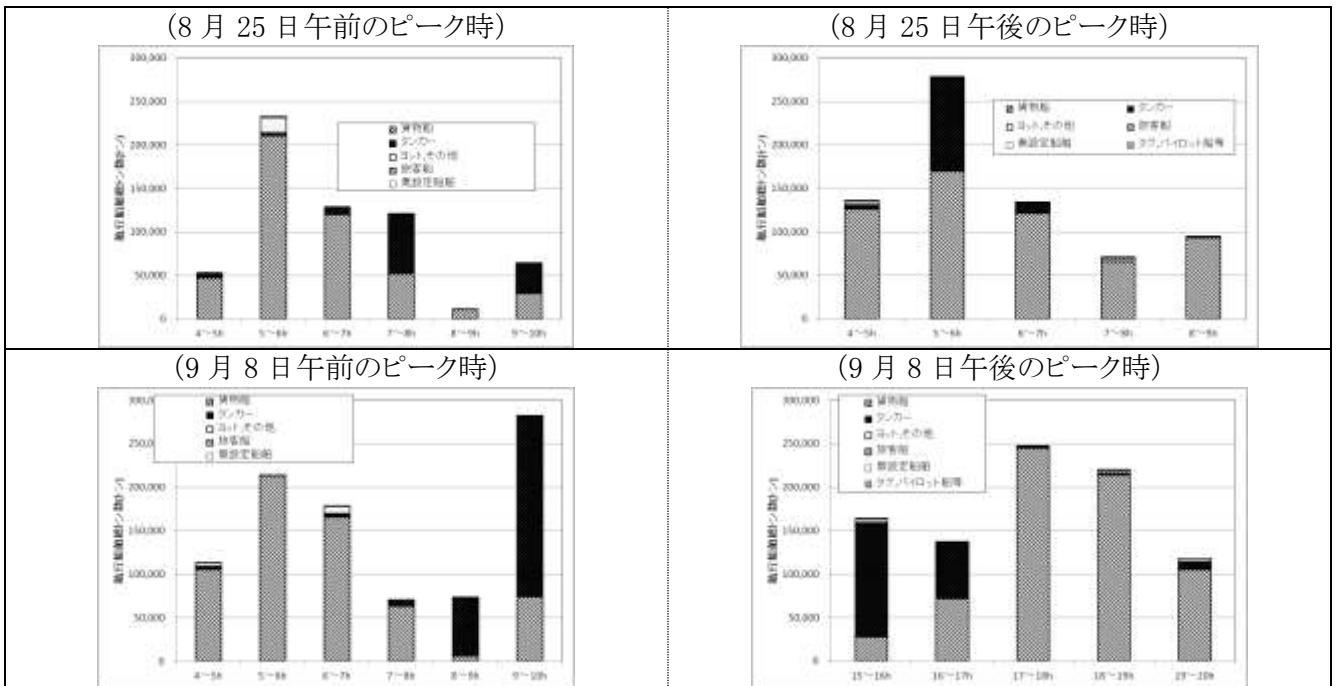


図 98 8 月 25 日及び 9 月 8 日の船種別総トン数(1 時間に通過した船の合計)

【分析により得られた知見】

- ・ 午後のピークは、南風が卓越する際に見られ、船舶航行量が多くなる時間帯に対応してピークが見られることから、航行中の船舶排ガスの影響を受けて生じた可能性が高い。
- ・ 物質は午前のピーク(南風卓越時)と異なり、NOは殆ど見られずNO₂の顕著なピークが見られた。濃度はいずれの物質も午前のピークよりも小さい値となった。

第4章 航空機及び船舶排出ガスに係る規制・対策等の調査

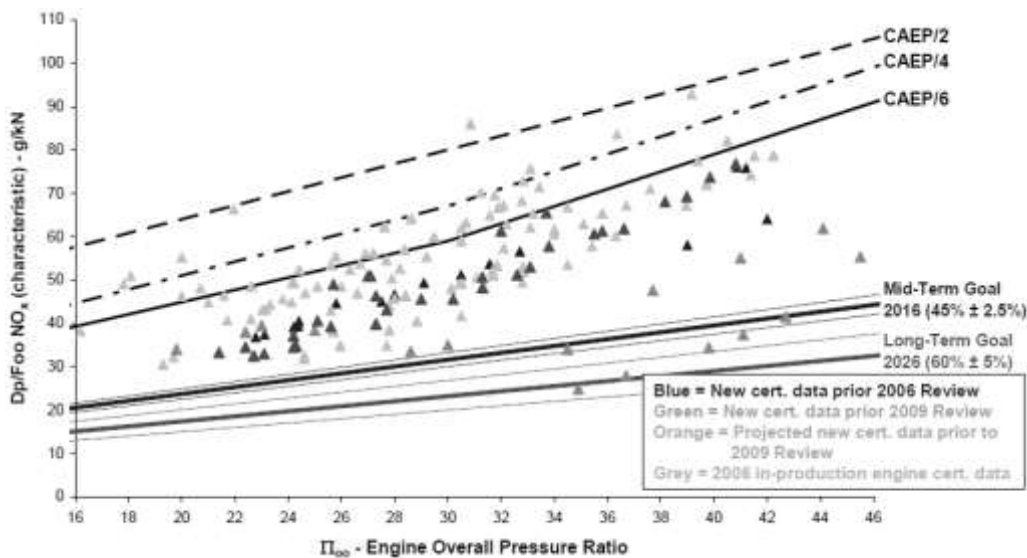
4.1 航空機排出ガスに係る規制及び対策等の調査

航空機からの大気汚染物質等の排出削減については、国際民間航空機関(ICAO)において「国際民間航空条約付属書 16」が定められ、空港周辺の大気環境保護を目的として窒素酸化物(NO_x)、一酸化炭素(CO)、炭化水素(HC)及び煤煙(Smoke)の排出基準が規定されている²³。

現在の国際動向としては、 NO_x について見直しの動きがある。またPMについて新しい基準の導入が検討されている。以下にその概要を示す

4.1.1 NO_x 基準

NO_x 基準は 1981 年導入開始から段階的に強化され、第 8 回大気環境保護委員会 (CAEP/8) (2010 年 2 月) で NO_x の新たな基準が合意された (図 99)。その内容は CAEP/6 の NO_x 基準から最高 15%削減することとし、2013 年末に発効する予定である。また独立専門家による NO_x 削減技術のレビューの結果、中長期 NO_x 削減目標として、2026 年までに CAEP/6 基準の 60%を削減することが掲げられた。(図 99、表 58 参照)



注: x 軸は圧力比、y 軸は排出量(g/kN)。線及びプロットの意味は次のとおり。

- 「CAEP/2」の破線: 1992 年設定の NO_x 基準値
- 「CAEP/4」の破線: 1998 年設定の NO_x 基準値
- 「CAEP/6」の実線: 2004 年設定の NO_x 基準値
- 青のプロット: 2006 年の NO_x 基準レビュー以前における新型認証値
- 緑のプロット: 2009 年レビュー以前における新型認証値
- オレンジのプロット: 2009 年レビュー以前に予測された将来の新型認証値
- 灰色のプロット: 2006 年レビュー時点の生産段階のエンジン新型認証値

出典: 米国連邦航空局ホームページ²³

図 99 NO_x 排出基準の推移と型式認証における NO_x 値(全圧力比)

²³ FAA Perspective on ICAO's Progress on NO_x Emissions as well as on Efforts for CO_2 , Particulate Matter, and Noise Standards (2010 年 5 月 4 日) (http://www.epa.gov/air/caaac/mstrs/may2010/7_Holsclaw.pdf) ICAO

表 58 ICAO における中長期 NO_x 削減目標

目標削減率
中期目標 (2016 年まで) …CAEP/6 の 45%±2.5% (エンジン圧力比が 30 の場合)
長期目標 (2026 年まで) …CAEP/6 の 60%±5% (エンジン圧力比が 30 の場合)

国内では、航空法によって排出ガス基準が担保されている。具体的な条文を表 59 に示す。2014 年 1 月 1 日以降に製造された航空機エンジンに対する基準値についても、現行の国内法で対応済である。(表 59 の網掛け部分)

表 59 亜音速航空機の発動機の排出物の基準(規則附属書第 3 第 14 条関係)

適用		窒素酸化物数値(単位 g/kN)
定格推力が 26.7kN を超える発動機であつて、当該型式の最初の発動機が 1996 年1月1日前に製造され、かつ、当該発動機が 1986 年1月1日以後 2000 年1月1日前に製造されたもの		$40+2 \times \pi 00$ 以下
定格推力が 26.7kN を超える発動機であつて、当該型式の最初の発動機が 1996 年1月1日以後 2004 年1月1日前に製造され、かつ、当該発動機が 2013 年1月1日前に製造されたもの又は当該型式の最初の発動機が 1996 年1月1日前に製造され、かつ、当該発動機が 2000 年1月1日以後 2013 年1月1日前に製造されたもの		$32+1.6 \times \pi 00$ 以下
定格推力が 26.7kN を超え 89.0kN 以下の発動機であつて、当該型式の最初の発動機が 2004 年1月1日以後 2008 年1月1日前に製造され、かつ、当該発動機が 2013 年1月1日前に製造されたもの	圧縮比が 30 以下のもの	$37.572+1.6 \times \pi 00-0.2087 \times F00$ 以下
	圧縮比が 30 を超え 62.5 未満のもの	$42.71 + 1.4286 \times \pi 00 - 0.4013 \times F00 + 0.00642 \times \pi 00 \times F00$ 以下
	圧縮比が 62.5 以上のもの	$32+1.6 \times \pi 00$ 以下
定格推力が 89.0kN を超える発動機であつて、当該型式の最初の発動機が 2004 年1月1日以後 2008 年1月1日前に製造され、かつ、当該発動機が 2013 年1月1日前に製造されたもの	圧縮比が 30 以下のもの	$19+1.6 \times \pi 00$ 以下
	圧縮比が 30 を超え 62.5 未満のもの	$7+2.0 \times \pi 00$ 以下
	圧縮比が 62.5 以上のもの	$32+1.6 \times \pi 00$ 以下
定格推力が 26.7kN を超え 89.0kN 以下の発動機であつて、当該型式の最初の発動機が 2008 年1月1日以後 2014 年1月1日前に製造されたもの又は当該型式の最初の発動機が 2008 年1月1日前に製造され、かつ、当該発動機が 2013 年1月1日以後に製造されたもの	圧縮比が 30 以下のもの	$38.5486 + 1.6823 \times \pi 00 - 0.2453 \times F00 - 0.00308 \times \pi 00 \times F00$ 以下
	圧縮比が 30 を超え 82.6 未満のもの	$46.1600 + 1.4286 \times \pi 00 - 0.5303 \times F00 + 0.00642 \times \pi 00 \times F00$ 以下
	圧縮比が 82.6 以上のもの	$32+1.6 \times \pi 00$ 以下
定格推力が 89.0kN を超える発動機であつて、当該型式の最初の発動機が 2008 年1月1日以後 2014 年1月1日前に製造されたもの又は当該型式の最初の発動機が 2008 年1月1日前に製造され、かつ、当該発動機が 2013 年1月1日以後に製造されたもの	圧縮比が 30 以下のもの	$16.72+1.4080 \times \pi 00$ 以下であること。
	圧縮比が 30 を超え 82.6 未満のもの	$-1.04+2.0 \times \pi 00$ 以下であること。
	圧縮比が 82.6 以上のもの	$32+1.6 \times \pi 00$ 以下であること。
定格推力が 26.7kN を超え 89.0kN 以下の発動機であつて、当該型式の最初の発動機が 2014 年1月1日以後に製造されたもの	圧縮比が 30 以下のもの	$40.052 + 1.5681 \times \pi 00 - 0.3615 \times F00 - 0.0018 \times \pi 00 \times F00$ 以下
	圧縮比が 30 を超え 104.7 未満のもの	$41.9435 + 1.505 \times \pi 00 - 0.5823 \times F00 + 0.005562 \times \pi 00 \times F00$ 以下
	圧縮比が 104.7 以上のもの	$32+1.6 \times \pi 00$ 以下
定格推力が 89.0kN を超える発動機であつて、当該型式の最初の発動機が 2014 年1月1日以後に製造されたもの	圧縮比が 30 以下のもの	$7.88+1.4080 \times \pi 00$ 以下
	圧縮比が 30 を超え 104.7 未満のもの	$-9.88+2.0 \times \pi 00$ 以下
	圧縮比が 104.7 以上のもの	$32+1.6 \times \pi 00$ 以下
備考	1 窒素酸化物の数値は、国際民間航空条約の附属書 16 に定める方法により測定し計算されたものとする。 2 F*00 は、国際民間航空条約の附属書 16 に定義される当該発動機の定格推力(単位 kN)とする。 3 $\pi 00$ は、国際民間航空条約の附属書 16 に定義される当該発動機の圧縮比とする。	

4.1.2 不揮発性 PM 基準策定に係る検討・調査状況

PM が及ぼす健康への影響に関して調査研究が進み、米国や日本で粒子状物質（米国では PM₁₀²⁴、日本では SPM²⁵）に関する規制を実質的に強化する PM_{2.5} の環境基準が導入された（米国では 1998 年、日本では 2009 年）。また気候変動に関しても、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）において、航空機から排出される PM が雲を形成して放射強制力（radiative forcing）を持つ可能性があることが指摘された。

こうした国際的な動向を受け、CAEP では航空機から排出される PM に関する情報収集を行ってきた。2010 年の CAEP/8 では、航空機排出 PM のうち、不揮発性の PM 成分に関する知見が進展したとして、不揮発性の粒子に対して粒子数による基準を設ける方針が採択された²⁶。新たな基準の合意は 2016 年の CAEP10 を目標としている。

- CAEP/8（2010 年 2 月） 既存の PM 基準を見直し、不揮発性 PM 基準の導入が合意された。
- CAEP/9（2013 年予定） 認証要件（特に測定方法）に関する合意を目指す。
- CAEP/10（2016 年予定） 排出ガス基準に関する合意を目指す。

① PM による健康影響に係る検討・調査状況

2010 年 2 月の CAEP/8 に先立つスティアリンググループ（SG）では、航空機排出 PM に関する文献調査の整理結果が提出された²⁷。この文書で整理された航空機排出 PM による健康影響を次に示す。

ア) 健康影響の概要

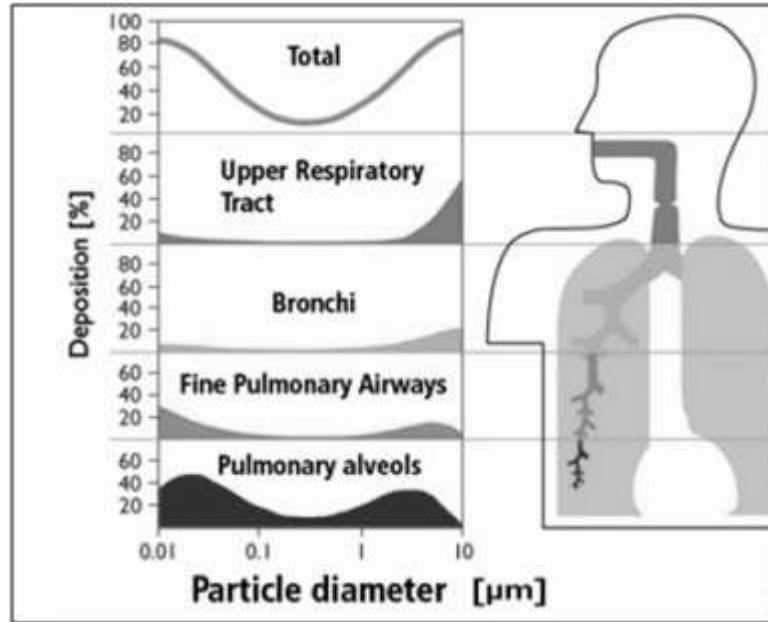
PM の吸引による健康影響としては、循環器への影響（心臓病、血管炎症、アテローム性動脈硬化等）、呼吸器への影響（肺の病気、肺炎等）、肝臓や脳への移転等が挙げられる。粒径が小さいほど肺の奥に沈着することが知られているが、2.5 μm 以下の PM は肺胞まで侵入し、ナノ粒子は血管に入り込み他の臓器に達する。特に PM_{2.5} は動脈内のプラークを引き起こして血管炎症やアテローム性動脈硬化の原因となる。最近の研究では、短時間であっても高濃度に暴露した場合心臓病を引き起こす可能性が大きいことが示唆されている。また 100nm 以下の粒子は血流に混入し、アルツハイマー患者と類似の脳障害を起こすことが示唆されている。

²⁴ 大気中に浮遊する微粒子のうち、粒径が概ね 10 μm 以下のもの。10 μm 以下で 50%の捕集効率を持つ分粒装置を透過した微粒子。

²⁵ 浮遊粒子状物質。大気中に浮遊する微粒子のうち、粒径が 10 μm 以下のもの。10 μm 以下で 100%の捕集効率を持つ分粒装置を透過した粒子。PM_{6.5}～7.0 に相当する。

²⁶ <http://www.icao.int/environmental-protection/Pages/technology-standards.aspx>

²⁷ 「CAEP-SG/20082-IP/05」(非公開)



注) Deposition: 沈着
 Upper respiratory tract: 上気道
 Bronchi: 気管支
 Fine pulmonary airways: 肺気道
 Pulmonary alveols: 肺胞

出典) ICAO ホームページ²⁸

図 100 粒径別肺部位別の沈着割合

1) 健康影響指標としての粒子特性の評価

粒子の有害性に関しては、粒子の表面積と毒性との関係や、表面積が急性肺炎を引き起こすしきい値との関係にあるとする知見が最近収集されつつある。したがって粒子数や粒径も重要なパラメータと見なされるようになってきている。さらにPM成分の重要性も指摘されている。ガスタービンから排出されるPMは、粒径が20-60nmの粒子数が最も多いが、これは肺での沈着率が最も高い粒径でもある。

現在、揮発性即ち可溶性の粒子の方が、不揮発性即ちほとんど不溶性の粒子よりもリスクが高いのではないかという点が議論されているが、科学的な知見からは明確な見解は得られていない。硫黄を含む酸性水 (sulphuric acid-water) や濃縮された有機成分からなるナノメータの揮発性粒子は可溶性であり、呼吸器内の湿潤な環境で分解されると考えられ、不溶性のナノメータ粒子が肺から除去されにくいことと比較して、体内に存在する時間が短いと考えられている。一方、多環芳香族炭化水素のような有害成分は揮発成分に含まれるが、主に不溶性の炭素粒子である。以上の状況から、有害性の高い粒子の特性は明らかになっていない。

²⁸ <http://www.icao.int/environmental-protection/Pages/Contaminants.aspx>

② 不揮発性 PM 規制に関する測定方法等の検討・調査状況

新しい PM 基準に関する検討は主に CAEP の第 3 作業部会 (WG3) で進められていおり、このうち PM に関する技術部会 (PMTG) で、具体的な測定方法や認証要件が検討されている。現在 PMTG では、具体的な基準値を定めることに先駆け、測定方法を定める段階の検討を行っている。

ア) 情報源の概要

測定方法に関しては、航空機排出ガスの測定に関する知見が豊富な米国の団体 SAE (Engineering Society For Advancing Mobility Land Sea Air and Space) に技術的な検討を依頼している²⁹。SAE が検討している航空機エンジン排出 PM に関する測定方法は一般に公表されており、ICAO で検討されている測定方法について概要を把握することができる。

測定方法の検討を担当している SAE の概要を以下に示す。特に E-31 委員会が航空機排出ガスの測定方法を専門に検討している。

表 60 情報源の概要

団体名等	SAE International、本部は米国ペンシルバニア州
団体の概要 ³⁰	<ul style="list-style-type: none"> 航空機、自動車、商用車業界の関連技術の技術者および専門家が 128,000 人以上参加している世界規模の団体。 世界標準規格の開発に取り組む。航空宇宙標準に関しては、22,000 件を超える利用可能な航空宇宙標準 (AS) と航空宇宙材料規格 (AMS) を含む SAE 規格が提供されている。
PM2.5 測定に参加している委員会 E-31 について ³¹	<ul style="list-style-type: none"> 航空機の動力源からの排出ガス測定に関する規格の開発を目的として設けられた委員会。 航空機エンジン及び内燃機関からの排出ガスに関する統一的な測定方法を検討している。 ただし、排出レベルによる環境影響や大気環境基準の達成を目的とした排出管理に係る検討は所管外としている。

PM 粒子数の測定方法に関する最新の資料は次に示す AIR5892B である。なお、SAE が公表する資料には、AIR (Aerospace Information Report)、ARP (Aerospace Recommended Practice) の 2 種類があるが、ここで取り上げる資料は前者の情報提供資料であり、今後、後者の推奨方法を開発する上での基礎情報と位置づけされている。

資料コード (Document)	資料名 (Title)	最終更新日 (Date)	更新状況 (Status)
AIR5892B	Nonvolatile Exhaust Particle Measurement Techniques	2012 年 3 月 7 日	確定 (Stabilized)

²⁹ SAE の他、欧州の AERONET グループにも技術的な検討を依頼した。検討結果は SAMPLE プロジェクトとして公表されている。
(<http://easa.europa.eu/safety-and-research/research-projects/environment.php>)ここでの調査一部国内文献も参考にした。

・ICAO CAEP の動向-WG3, (一財)空港環境整備協会 航空環境研究センター, 航空環境研究 2011.

・ICAO CAEP(国際民間航空機関 航空環境保全会議)2011 年ステアリンググループ会議に参加して, (一社)日本航空宇宙工業会, 工業会活動, 平成 23 年 12 月, 第 696 号.

³⁰ <http://jp.sae.org/standards/>

³¹ <http://www.sae.org/works/committeeHome.do?comtID=TEAE31>

イ) 既存の PM 基準（測定法）の問題点

既存の PM 基準「(「すす」又は「黒煙」; soot) においては、フィルタに採取された排出ガスの汚れ具合を「黒さ」で測定し、この値から経験に基づいた換算係数を用いて求められた体積当たりの粒子の重量密度 (g/m³) に対して規制値を設定している。具体的には、SAE 指定の方法によってフィルタ 1m²あたり 16.2kg の排気ガスを通させて汚れたフィルタの光の反射率を計測し、スモークナンバー (SN) を求める。

$$SN = 100 \times (1 - R_s / R_w)$$

Rs: 排気ガス通過後のフィルタの反射率
Rw: クリーンなフィルタでの反射率

出典) 「内外報告 ICAO CAEP の動向-WG3」、航空環境研究 2011(一般財団法人 空港環境整備協会、航空環境研究センター)

AIR5892B によれば、この規制の効果として、航空機エンジンからの黒煙は見られなくなってきているが、その一方で、既存の PM 基準を適用しても健康影響や気候変動への影響が懸念されている粒子を低減できるわけではない。具体的には、見た目の「黒さ」に最も強く影響する PM の粒径は、健康影響や環境影響が懸念されている PM に比べて著しく大きいためである。したがって、よりターゲットを絞った PM 規制や測定方法が必要となったため、新たな PM 基準が導入されることとなった。

ウ) 航空機エンジン排出 PM の分類・組成

AIR5892B によると、航空機エンジンから排出される 10nm 以下の粒子は、エンジン内でジェット燃料が燃焼した結果として排出する。こうした粒子は、揮発性のものと、不揮発性のものに分類される。

表 61 航空機エンジン排出 PM の分類

分類		概要
揮発性 PM		揮発性粒子のうち硫黄分及び有機物に関しては、エンジン排出ガスが大気中で冷却される過程で、排ガス中に含まれる PM 前駆物質から生成する
不揮発性 PM	炭素質粒子 (carbonaceous particles)	不揮発性粒子のうち大部分を占め、燃料の不完全燃焼に起因する。色としては真黒な炭素、灰色の有機化合物がある。
	金属	エンジンの劣化や燃料中に含まれる微量成分に起因し、濃度では、炭素粒子と比較すると、数オーダー少ない
	エンジンに吸い込まれた粒子	現代のターボファンエンジンは大量の空気を吸い込む。大気中に含まれた粒子がエンジンに吸い込まれ、そのまま排出されるものである。このような粒子についてはエンジン排出とは見なされていない ^注 。

注：エンジンに侵入する大気中の PM に関する詳細分析は、エンジン排出 PM の測定において必須とされている。

排出直後の PM は、主に、燃焼器内で形成する不揮発性 PM である炭素質粒子から成るが、排出後は、時間とともに変化するものと、変化しないものに分けることができる。

時間とともに変化する PM としては、有機化合物や水溶性無機化合物 (water-soluble inorganic compounds) (例としてサルフェート) が表面に凝縮して成長する。有機化合物 (organic compound ; OC) は反応性を持ち、揮発性若しくは半揮発性 (semi-volatile) となり、400K (400K-273=127°C) でも酸化が起こる。

時間とともに変化する PM としては、元素状炭素 (elemental carbon ; EC) があり、EC は中・低温でも安定している。このように EC は、サンプリングの際の粒子のエイジング (aging) や温度変化において最も安定した組成とされている。

このように、不揮発性 PM の排出は、エンジンの設計や運用、また燃料成分に依存する。他方、揮発性 PM の生成は、時間・温度変化、サンプリング条件及び燃料成分に左右される。なお、EC と有機炭素 (organic carbon ; OC) の比率は、次に例示するように、エンジンの運転モードによっても変化する、とされている。

表 62 航空機エンジン排出 PM の運航モード別組成比率

運行モード	航空機エンジン排出 PM の組成比率	
	EC (不揮発性)	OC (揮発性、半揮発性)
アイドリング	10%	90%
クルーズ	60~80%	20~40%
テイクオフ	約 100%	ほとんどない

I) PM の粒径別粒子数分布の測定方法

a) 測器の概要

航空機エンジン排出 PM の粒径及び粒子数の測定に使用可能な測器は、広く産業界や学術研究機関で認められ、商品化されている。実験棟においてもフィールド測定においても使用できる可動式の測器も入手できる。これらの測器は、ほぼリアルタイムで粒径分布を測定でき、粒子数についてはオンラインでデータを提供することができることから、試料の操作ミスを予防し、分析時間を短縮することが可能である。他方、採取した資料に含まれる PM が分析器に到達するまでの間に変化が起きないように配慮が必要である。なお、現在 ICAO において基準作りの対象となっている PM は不揮発性 PM であるため、試料中の PM のうち、揮発性のものを除去する機能も必要となっている。

また分析器の仕様としては、幅広い圧力や温度に対応していることが必要であり (圧力 1~62atm、温度 220~2400K 等)、バックグラウンド程度の濃度の 0.5cm^{-3} から航空機エンジン排出ガス濃度の $1.0 \times 10^9\text{cm}^{-3}$ に亘る体積中の、数 nm から $10\mu\text{m}$ 以上の粒子を判別できることが必要である。

b) 測定方法の概要

粒子数の測定方法としては、初めに、粒子を含まない気体で試料を薄めることが一般的である。これは、粒子と粒子の間の接触を最小化すること、ガス状物質が凝縮して粒子化することを防止すること、及び分析器のオーバーフローを予防することを目的としている。次に、通常ブタノールを試料に充満させ、粒子の表面にアルコール分が凝縮することにより測定すべき粒子が大きくなり、大きくなった粒子を光学的にカウントすることで粒子数を得る。なお、試料を薄めた場合は得られた粒子数を換算する。このような測定方法は CNC (condensation nuclei counters) と呼ばれている。さらに、揮発性 PM を除去する方法としては、試料を一定の温度と時間で熱して除去する装置 (Volatile Particle Remover ; PVR) を CNC の前に置く方法がある。

粒径分布は、CNC と DMA (differential mobility analyzer) と呼ばれる測定方法がある。DMA では、電気を帯びた粒子が電磁場で運動することを利用し、試料の粒子を荷電して電圧の異なる電磁場を通過させ、粒径別に振り分けることで粒径分布を得る。この測定方法は SMPS (scanning mobility particle sizer) という商品名の測器で使われ、2~1000nm の粒径に対応している。

このように実測で得られた粒子数と粒径分布を用いて、幾何平均径と分布幅を得ることが可能であり、さらに粒径別粒子数、表面積、質量を大凡予測することができると考えられている。

4.1.3 航空機排出ガスに係る規制及び対策等の調査のまとめ

今年度の国際動向調査では、既存の PM 規制方法では、健康影響や環境影響が懸念されている、粒径が小さく大量に排出される PM を適切に管理できていない可能性があることから、こうした PM に対応した測定方法が検討されている様子が把握できた。

2013 年の初めには ICAO の CAEP/9 において、具体的な測定方法が決められると予想されており、どのような測定方法が採択されるのか動向を注目したい。また、今後、不揮発性 PM の基準値を定める上で、排出削減により期待される空港周辺環境の改善等の検討が 3 年後の CAEP/10 までに検討される予定であることから、こうした影響評価も注視してゆく必要がある。さらに ICAO において検討が未着手となっている揮発性 PM に関しても、SAE における検討等の動向を見守りたい。

また、新たに策定されつつある不揮発性 PM 基準に対して想定される国内対応としては、条文の観点からは、具体的な法改正が必要となる可能性は低いと予想されるものの、空港周辺における PM の粒径分布の現状を把握するための実測データや、対策による削減効果の試算を視野に入れた知見の収集を継続して行ってゆくことが重要であろう。

4.2 船舶排出ガスに係る規制及び対策等の国際動向調査

4.2.1 諸外国における船舶排出大気汚染物質を削減するための先進事例

船舶から排出される大気汚染物質に対する排出削減のための施策としては、国際的な規制として NO_x 排ガス基準や燃料中硫黄成分規制があるが、諸外国では、他の施策との組み合わせにより、より大きな削減効果を目指す EU 及び米国カリフォルニア州の事例がある。これらの内容を以下に紹介する。

① EU における非規制的な政策の検討状況

EU は、MARPOL 条約附属書 VI の燃料規制強化を IMO において提案したが、その結果 2008 年に条約が改正され、これを受けて、EU 域内で同等の基準を担保するため、EU 指令の改正が必要となった。この過程で関係団体を含めたレビューが行われ、欧州委員会は欧州議会に対して改正案を提出したが、規制強化だけでなく、海運業界の競争力確保の観点から、設備投資への財政支援策等の非規制的な施策案も併せて提出することで、2015 年 5 月の欧州議会で暫定合意を得るに至った。

この非規制的施策案に盛り込まれた内容を以下に示す。主な情報源は EU 指令改正に関するホームページである。^{32, 33}

ア) 非規制的施策案の背景

燃料規制の強化は、海運業界にとって技術的な変更や運航の調整が必要となることが予測される。環境配慮と国際的な競争力は同等に考慮しなければならず、このため、燃料規制に代わって同じ SO_x 削減効果が得られる処理装置（スクラバ等）や代替燃料（液化天然ガス；LNG 等）の採用も認められている。

スクラバは 99%以上の SO_x を除去することができるとされている。LNG は硫黄を含まないだけでなく、CO₂、NO_x 及び PM 排出削減も期待できる。しかしながら、改造の必要性や貨物スペースの縮小、また LNG の場合は接岸設備の整備状況等の問題もある。したがって欧州委員会の提案は、新しい規制の達成方法について柔軟かつ中立であり、被規制側にとって最適な方法を選択できる仕組みでなければならない。

イ) 燃料規制に付随する非規制的施策

燃料規制に付随する非規制的な施策としては、短期的な施策と中長期的な施策を検討している。短期的な施策は新たな規制に従うために必要な支援と副作用の最小化を目的とし、中長期的な施策は将来的な持続可能かつ競争力のある海運の推進を目的としている。

³² Emissions from Maritime Transport, Amendment of Directive 1999/32/EC (relating to a reduction of the sulphur content of certain liquid fuels) (http://ec.europa.eu/environment/air/transport/ships_proposal.htm)

³³ COMMISSION STAFF WORKING PAPER POLLUTANT EMISSION REDUCTION FROM MARITIME TRANSPORT AND THE SUSTAINABLE WATERBORNE TRANSPORT TOOLBOX Accompanying the document COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS on the review of the implementation of Directive 1999/32/EC related to the sulphur content of certain liquid fuels and on further pollutant emission reduction from maritime transport (http://ec.europa.eu/environment/air/transport/pdf/ships/sec_2011_1052.pdf)

◆ 短期的施策

【EU の施策①】

インフラ設備の環境対応を推進する TEN-T プログラム (Trans-European Transport Network) への財政支援を継続する。特に環境対応型設備の整備、パイロット事業、LNG 及びスクラバの普及、陸上電源の推進を重点支援分野とする。LNG 及びスクラバ普及プロジェクトの例としては、LNG 補給装置やスクラバ汚泥の回収装置があり、パイロット事業の例としては LNG 燃料補給船 (bunkering vessel) がある。支援額は 3 千万ユーロから 2012 年には 7 千万ユーロに増額した。

また Marco Polo II ワークプログラムでは、2011 年の重点支援分野を海運業とし、低硫黄燃料の使用、SO_x 処理技術、LNG 等の代替燃料の先駆的事例を支援対象とする予定である。

欧州投資銀行による持続可能な海運支援では、民間業者の船舶の購入や、稀に船舶の改造を支援している。今後の重点支援分野は、環境対応技術の開発、燃費の向上、古い船舶や燃費の悪い船舶の交換が挙げられる。また海運業界による研究開発投資も継続する。

【EU の施策②】

加盟国レベルでは一定条件のもと船舶の更新に伴うコストの一部を補助するケースがあり、これらのルールは次に示すようなインセンティブ効果が認められるケースに限る。

- 新しい EU 基準の採択前である場合は、その時点の EU 基準を超えるための投資への補助
- 新しい EU 基準の採択後は、その基準の開始期限より前に達成するための投資への補助

港湾設備や LNG 補給所は補助の対象となる。造船所や修理工場は 2011 年末まで補助の対象だったが、現在 EU 委員会のレビュー中である。このように、国レベルでも排ガス処理装置やエンジンの改造、LNG 補給所の整備等を補助することが可能である。

また EU 域外からの船舶に対する基準遵守を確保するため、EU-ロシア共通スペース、ヘルシンキ条約、長距離越境大気汚染条約等における情報共有を図り、隣国を EU 基準へ近付ける方向に尽力する。

さらに米国等の ECA 指定国との情報共有を図り、あらゆる海域を技術的な問題なく運航できるよう共通基準の策定を目指す。

◆ 中長期的施策

欧州委員会は海運業における環境対応の向上と同時に競争力の維持を支援するための「sustainable waterborne transport toolbox」（持続可能な水運ツールボックス）を準備中であり、これには、規制的施策、環境対応技術や代替燃料の支援、環境対応設備の推進、経済的・財政的支援等が含まれる予定である。

【規制的施策の検討】

EU 域内では、LNG 供給及び船への補給に関する共通ルールが存在しないことが課題となっている。このため、EU 域内共通のガイドラインや基準を設定する必要性について欧州海上保安庁 (EMSA) や関係者と協力しつつ評価する予定である。また IMO における排ガス水洗浄の基準についても、基準強化の必要性の観点から注視してゆく。

【環境対応先端技術、代替燃料の実施】

新造船では LNG 等の代替燃料の導入が期待されている。複式燃料 (LNG や軽油) の搭載も効果が見込まれる。EU 委員会は代替燃料の普及について特に注目する予定である。

【環境対応適正設備の推進】

代替燃料を推進するためには、LNG 補給所を整備するための適正な場所の特定、及び安全かつ効率的な補給設備の開発が必要である。欧州委員会ではこれらの支援策を検討する予定だが、それは EU 域内レベルの LNG 供給網の整備も並行して支援するものである。

陸上電源に関しては港湾側、船舶側双方にとって設備投資が必要である。欧州委員会が提案した電気税の免税案はこの例の先陣を切るものである。

TEN-T プログラムでは出資率の上限が低いことによる予算的な制約があることから、他の民間基金等との共同出資など、出資率の課題を克服する方法を模索する必要がある。

【経済的、財政的支援】

EU 域内単一交通へのロードマップの一環として、欧州委員会は、交通分野のための新たな財政支援システムの構築に参加する予定である。また交通料金の適正化（大気汚染影響を反映させた形での料金体系等）を検討する。さらに、ノルウェーの NO_x 基金のような、排出源への課税で得た資金を用いて、産業と民間による共同基金の創設を支援することも考えられる。

② 米国カリフォルニア州における停泊中の船舶 APU からの NO_x 規制

米国カリフォルニア州では IMO における MARPOL 条約改正に先駆けて燃料規制を強化したが、他の規制との組み合わせにより船舶ディーゼル排出ガスの更なる削減を目指している。そのなかで特徴的な施策として停泊中の船舶からの排出規制について以降に紹介する。主な情報源はカリフォルニア州大気資源局ホームページである。³⁴

ア) 大気環境基準及び排出削減の規制の枠組み

◆ カリフォルニア州法における枠組み

カリフォルニア州 Health and Safety Code は、カリフォルニア州大気資源局 (Air Resources Board) に対し、大気環境基準の設定及び規制の策定を課している。

1998 年にディーゼル起源 PM が有害大気汚染物質に指定され、2000 年には「ディーゼル燃料エンジン及び自動車からの PM 排出削減のためのリスク削減計画」が承認された。この計画において、ほとんどすべての移動体及び固定発生源がリスク削減の対象になり、船舶も対象に含まれた。またこの計画の中心はディーゼル起源 PM による発がんリスクの削減であり、2000 年を基準としたディーゼル起源 PM 排出及び発がんリスクを 2020 年までに 85%削減することが目標であった。

◆ 合衆国レベルでの法的枠組み

合衆国レベルの Clean Air Act では PM 及び光化学オキシダント等の大気汚染物質に対する環境基準を定め、環境基準を達成していない地域では、州レベルの達成計画 (State Implementation Plans) の策定が義務付けられている。

カリフォルニア州南海岸地域は、光化学オキシダント 8 時間平均及び PM_{2.5} 基準の非達成地域に指定され、PM_{2.5} に関しては 2014 年までに、光化学オキシダントに関しては 2023 年までに基準を達成しなければならない。現時点での大気環境モデルによれば、NO_x を大幅に削減することで達成できると予測されている。例として 2006 年レベルに対し、NO_x 排出は 55%、PM_{2.5} 直接排出は 15%の削減が今後必要と予測されている。

また Clean Air Act では各州でより厳しい基準を設けることが認められているが、カリフォルニア州における PM 及び光化学オキシダントの基準は国の基準より厳しいものであり、カリフォルニア湾地域、南海岸地域及びサンディエゴ地域では達成できていない状況であることから、追加的な NO_x 及び PM_{2.5} 規制が必要である。

イ) 停泊中船舶のディーゼル補助動力装置使用規制 (カリフォルニア州の規制)

◆ 船舶に関連する規制の枠組み

カリフォルニア州では 2006 年 4 月、「港湾及び製品輸送のための排出削減計画 (Emission Reduction Plan for the Ports and Goods Movement in California)」が承認された。製品輸送に関連する排出源として外航船舶、湾内船舶、貨物取扱設備、機関車、貨物車等が広く削減対象とされ、その中で停泊中の船舶に関しては、2010 年までに 20%の船舶が陸上電源を使用することを目標とし、2015 年までに 60%、2020 年までに 80%と強化することとされた。

これらを受け大気資源局は、停泊中の船舶に対する補助動力装置の使用を規制する通称「停泊中規制 (At-Berth Regulation)」を 2007 年 12 月に承認した。

³⁴ Shore Power for Ocean-going Vessels (<http://www.arb.ca.gov/ports/shorepower/shorepower.htm>)等

◆ 排出削減及び規制による効果予測

この規制が実施されることで、停泊中の船舶から排出されるディーゼル PM 及び NO_x の削減幅は、2020 年では規制しない場合の排出量の 75% 近くに及ぶと予測されている。また発がんリスク人口が百万人中 10 人の領域に該当する人口は 2020 年までに 70% 減ると予測され、2030 年までに約 990 件の早死にが予防できると考えられている。さらにこうした早死にや健康被害が回避されることで 31 億ドルから 57 億ドルの経済効果があると予測されている。

◆ 主な規制内容

規制対象は表 63 のとおりである。

表 63 規制対象の概要

規制対象の船種 ^{注1}	貨物船、旅客船、及び冷凍貨物船
規制対象港湾	ロサンゼルス港、ロングビーチ港、オークランド港、サンディエゴ港、サンフランシスコ港、ヒューニーム港
被規制者	上記の船舶の船主、運行者、使用者等、及び上記の港湾の所有者及び運営者
例外	<ul style="list-style-type: none"> ● 非営利活動に従事する船舶、蒸気船、天然ガス補助動力装置の船 ● 規制対象の船種の船舶で寄港回数が一定回数に満たないもの^{注2}

注 1：船籍は問わない

注 2：寄港回数が年間 25 回以下の貨物船及び冷凍貨物船、及び 5 回以下の旅客船

規制基準は次の 2 通りがあり、被規制者はどちらかを選択できる。

- (1) 補助動力装置の使用を一定以下とする(補助動力装置使用制限)(詳細は表 64 参照)
- (2) 排出量を一定以下とする(排出量規制)(詳細は表 65 参照)

表 64 補助動力装置使用制限の詳細

期限	規制内容	達成しなければ ならない期間
2010 年 1 月 1 日	<ul style="list-style-type: none"> ● 船及び港湾に設備が整っている場合は陸上電源を使用する 	
2014 年 1 月 1 日	<ul style="list-style-type: none"> ● 船及び港湾に設備が整っている場合は陸上電源を使用する ● 寄港回数の 50% で陸上電源を使用する ● 停泊中の補助動力装置による発電を 50% 削減する 	4 半期ごとに達成する
2017 年 1 月 1 日	<ul style="list-style-type: none"> ● 船及び港湾に設備が整っている場合は陸上電源を使用する ● 寄港回数の 70% で陸上電源を使用する ● 停泊中の補助動力装置による発電を 70% 削減する 	4 半期ごとに達成する
2020 年 1 月 1 日	<ul style="list-style-type: none"> ● 船及び港湾に設備が整っている場合は陸上電源を使用する ● 寄港回数の 80% で陸上電源を使用する ● 停泊中の補助動力装置による発電を 80% 削減する 	4 半期ごとに達成する

※ ただし陸上電源への接続のための作業時間は制限時間から除外されている。作業時間は接続切り替え作業が必要な船舶では 3 時間、主エンジンの再起動が必要な船舶では 5 時間までである。

表 65 排出量規制の詳細

期限	規制内容	達成しなければ ならない期間
2010年1月1日	停泊中排出量を10%削減する	毎年達成する
2012年1月1日	停泊中排出量を25%削減する	毎年達成する
2014年1月1日	停泊中排出量を50%削減する	毎年達成する
2017年1月1日	停泊中排出量を70%削減する	毎年達成する
2020年1月1日	停泊中排出量を80%削減する	毎年達成する

注:排出量削減手段は特に次のものを用いる

- 電力供給システムへの接続
- 非電力供給システムへの接続(天然ガス発電機等。排ガス基準を満たしたものに限る。)
- 船側に設置された装置(スクラバー、触媒、代替燃料等)
- 上記の混合使用

削減達成状況は、法で定められたデフォルト排出係数を使用して計算すること。また排出量削減手段ごとに定められた排出量測定方法を使用すること。期限前に達成された削減はクレジットとして次の時期に持ち越すことができる。上記の他、船主や港湾管理者は陸上電源の配置計画や排出削減達成報告を提出しなければならない。

ウ) 規制の策定段階で提出された根拠資料の主な内容

カリフォルニア州で規制を策定する際には、規制を策定する根拠を示す資料や経済影響等の報告書³⁵が大気資源局により公表され、意見公募が行われる。以下は、規制策定の根拠資料のうち、主に健康影響評価に関するデータを紹介する。

◆ 停泊中船舶からの排出量の推計結果

2006年における規制対象船種の合計排出量への寄与は80%以上と推計された。また規制対象港湾の合計排出量への寄与は90%以上と推計された。(表66、表67の網掛け)

さらに2020年排出量予測では、貨物船及び旅客船では倍増する結果となった。冷凍貨物船も微増が予測された。(表68)

表 66 船種別 2006 年における 1 日あたりの排出量推計結果

Ship Category (船種)	2006 Emissions, Tons/Day (1日あたりの排出量; 単位トン)		合計排出量 への寄与	
	NO _x	PM	NO _x	PM
Container (貨物船)	13.8	1.1	66%	65%
Passenger (旅客船)	2.8	0.2	13%	14%
Reefers (冷凍貨物船)	0.9	0.1	4%	4%
Tanker (タンカー)	2.0	0.2	9%	9%
Bulk/General (ばら積み、一般)	1.0	0.1	5%	5%
Vehicle Carriers (自動車輸送船)	0.6	0.1	3%	3%
Totals	21.1	1.8	100%	100%

³⁵ Technical Support Document: Initial Statement of Reasons for The Proposed Rulemaking (October 2007) (<http://www.arb.ca.gov/regact/2007/shorepwr07/tsd.pdf>)等

表 67 港湾別 2006 年における 1 日あたりの排出量推計結果

Port (港湾)	2006 Emissions, Tons/Day (1 日あたりの排出量; 単位トン)	
	NO _x	PM
Los Angeles/Long Beach	14.3	1.2
Oakland	2.6	0.2
San Diego	1.1	0.1
Hueneme	0.7	0.1
San Francisco	0.5	0.1
Other Ports	1.2	0.2
Total	21.1	1.8

表 68 2014 年、2020 年排出量予測

Ship Category (船種)	Emissions, Tons/Day (1 日あたりの排出量; 単位トン)			
	2014 年		2020 年	
	NO _x	PM	NO _x	PM
Container (貨物船)	21.4	0.38	30.8	0.55
Passenger (旅客船)	3.6	0.07	5.2	0.09
Reefers (冷凍貨物船)	1.0	0.02	1.3	0.02
Totals	26	0.47	37.3	0.67

◆ 発がんリスク

停泊中船舶から排出されるディーゼル PM 濃度予測(拡散モデル)に基づくリスク人口分析の結果、2006年における発がんリスク人口は 2 百万人程度となり、モデル範囲を超えた地域も含めると、発がんリスク人口は更に多くなると予想された。(図 101 及び表 69)

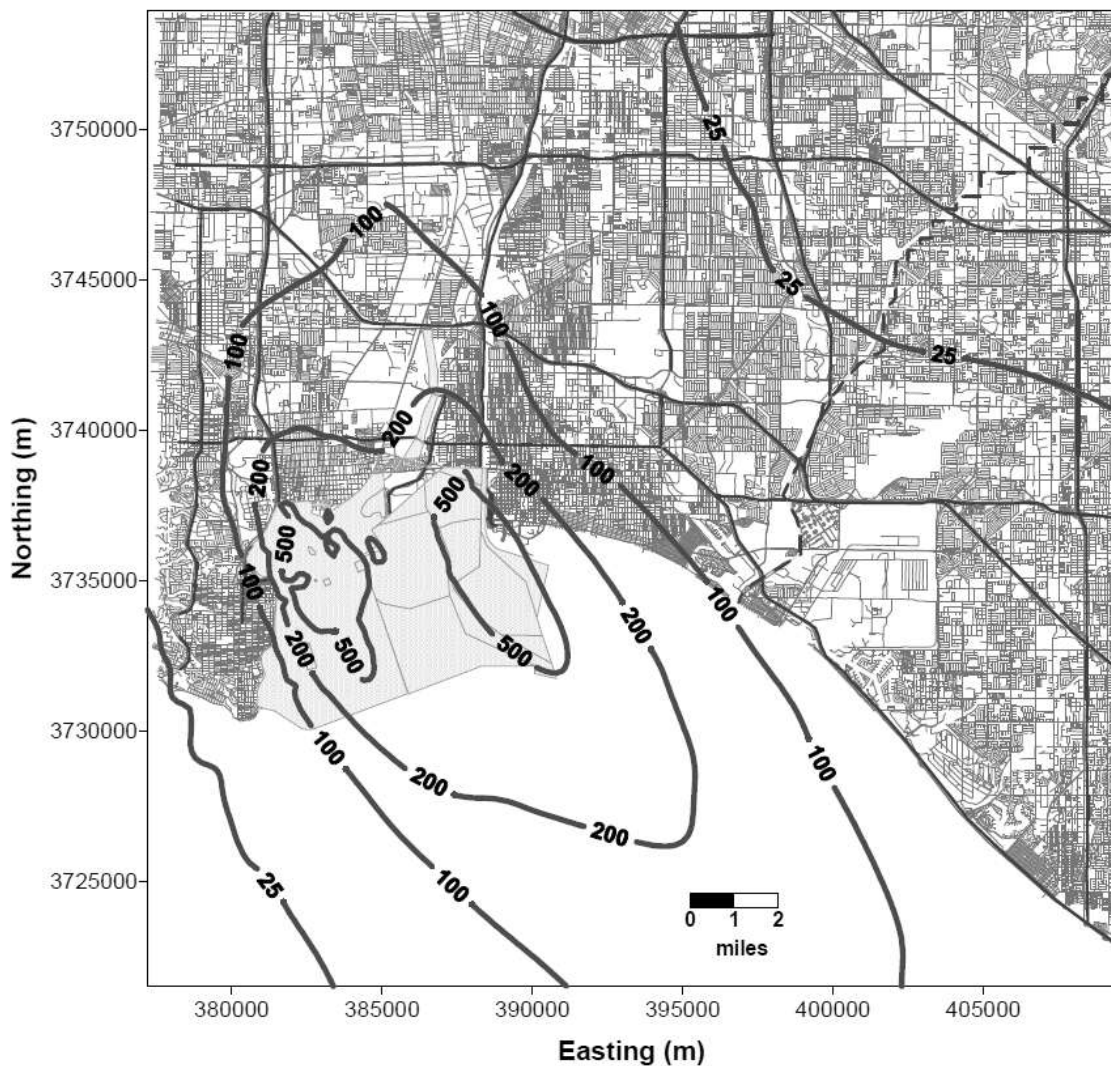


図 101 ロサンゼルス港及びロングビーチ港周辺の停泊中船舶排ガスによる PM 発がんリスク人口 (Wilmington 地区, Urban Dispersion Coefficients, 80th Percentile Breathing Rate, Emission = 430 ton-per-day, Modeling Domain = 20 miles x 20 miles, Resolution = 200 m x 200 m)

表 69 ロサンゼルス港及びロングビーチ港周辺の停泊中船舶排ガス起源の PM 発がんリスク人口

リスクレベル (人口百万人中の発がんリスク人口)	面積 (単位;エーカー)	リスク人口 (単位;人)
500 以上	30	750
200 以上	4,100	87,500
100 以上	21,000	341,000
10 以上	163,435	1,978,000

◆ 発がんリスク以外の健康影響

PM2.5 の Concentration-Response function を用いて、2006 年における発がんリスク以外の健康影響は表 70 のように予測された。

表 70 ロサンゼルス港及びロングビーチ港周辺の停泊中船舶排ガス起源の PM の健康影響

指標	影響(単位)	95%信頼区間 (単位;影響と同じ)
premature deaths, directly emitted diesel PM ディーゼル PM(直接排出)による早死に	39 人	11 - 68,
premature deaths, secondary diesel PM ディーゼル PM(二次生成)による早死に	22 人	6 - 36
hospital admissions due to respiratory causes 呼吸器に起因する入院患者数	13 人	8-18
hospital admissions due to cardiovascular causes 循環器に起因する入院患者数	24 人	15-37
cases of asthma-related and other lower respiratory symptoms 喘息関連及び下部呼吸器疾患による患者数	1,800 人	700-2,800
cases of acute bronchitis 急性気管支炎	150 人	0-320
work loss days 労働損失日数	11,000 日	9,000-12,000
minor restricted activity days 子供の活動が影響を受ける日数(仮訳)	61,000 日	50,000 - 72,000

4. 2. 2 船舶排出ガスに係る規制及び対策の国際動向調査のまとめ

船舶からの大気汚染物質等の排出削減については、国際海事機関 (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、NO_x、SO_x及びPMについて基準が定められている。また大気環境に関する様々な議題も IMO において議論されている。

IMO において平成 24 年度に開催された海洋保護に関する会合は、主に、第 63 回環境保護委員会 (MEPC63、10 月開催)と、MEPC の専門委員会である「ばら積み液体・気体小委員会」の第 17 回会合 (BLG17、2 月開催)があったが、このうち BLG17 では、大気汚染物質に係る議題が審議された。この会議では、次世代のクリーン燃料として注目されているガス燃料船 (特に液化天然ガス燃料) に関する安全基準が検討され、来年に基準の最終化を目標として引き続き安全基準の詳細内容を検討することとなった。安全基準の策定が進むことで、クリーン燃料船の導入が促進すると考えられる。こうした IMO における検討状況については国内における対応の必要性等を検討する観点から、今後も引き続き把握してゆく必要がある。

国内では国土交通省の船舶からの大気汚染物質放出規制海域 (ECA) に関する技術検討委員会 (「ECA 技術委員会」) において、我が国における NO_x、SO_x 及び PM による大気汚染状況の評価、及び大気シミュレーションの実施による ECA 指定の効果予測 (濃度寄与、健康影響、生態系影響) 等を行い、ECA 設定の必要性、必要な場合の適切な ECA 指定範囲を含めた我が国から IMO に対する ECA 指定提案

のベースを検討している。これまで、2005年及び将来（2020年）について大気汚染に対する船舶の寄与の状況を分析してきたが、平成24年7月の委員会では、SO₂及びNO₂についてはECA設定せず既存の対策を継続することにより将来において環境基準は達成されると予想され、また二次生成物質についてはECA設定を追加する効果は極めて限定的と予測されたことから、現時点ではECA設定の必要性があるとは判断されないとされた。³⁶

一方、EUでは船舶のSO_x排出対策について世界に先駆けて取り組んできたが、今年度調査で収集したデータから、被規制側に対する配慮（規制側からのコスト負担）が燃料規制の条件となったことが窺われ、被規制側だけでなく規制側もコストを負担する必要性が印象付けられた調査結果となった。また代替燃料としてLNGの導入が本格化しつつある様子や、EU域外の基準を同レベルに近づけるとする政策的な方針を打ち出していることも把握することができた。米国のカリフォルニア州の例では、PM2.5及び光化学オキシダントの環境基準が未達成であることが、先駆的な施策の実施の主たる根拠となっていることが把握できた。

今後も、船舶から排出される大気汚染物質等や、これらによる健康影響、達成可能な排出削減技術や施策オプションに関する知見の収集を継続し、我が国における大気環境の保全のための施策を検討する上で参考することが望まれる。

³⁶ 国土交通省ホームページ

第5章 今年度調査のまとめ

5.1 航空機

米国で開発された航空機や空港内作業車等の空港関連排ガス専用のシミュレーションモデルである EDMS を用いて空港周辺の大気環境への影響評価を行った。対象空港は、昨年度調査にて滑走路の直近で測定した実測結果があり、航空機の離着陸回数が多く、周辺に顕著な発生源が無いことから成田国際空港を選定した。計算対象物質は NO_x 、 CO 、 SO_x 、 PM_{10} とした。計算ケースは短時間スケールでの再現性を確認するため昨年度の実測期間(2011年12月15～21日)(ケース①)、月～年間での再現性を確認するため2009年(ケース②)の2ケース実施した。計算結果の検証には、昨年度の実測結果に加え、空港管理会社にて自主的に測定を行っているモニタリングデータ(6地点)を使用した。

ケース①では、全体的な時間変化傾向やピークの出現時刻が比較的良好一致しており、短時間スケールでも精度良く再現されることが確認された。ケース②では、主に月平均、日平均で再現性を確認するとともに、排ガスの影響範囲、分布等を確認した。 CO 、 SO_x 、 PM_{10} は、大部分をバックグラウンド濃度が占める結果となった。 NO_x は滑走路直近で航空機の占める割合が高く、80%以上となった。また、航空機排ガスは、GSE・APU等の他の発生源と比較して遠方まで輸送される傾向が見られた。これらの排ガスの寄与率は、最も影響が大きくなる条件(バックグラウンド濃度が低く、空港関連排ガスの寄与率が高くなる夏季の風下側)で、およそ10km地点で約30%、15km地点で20%、25km地点で10%程度であった。

ケース②において、月別に再現性を確認したところ、A 滑走路の南北局、東部局、B 滑走路北局でシミュレーション結果と実測結果は良く一致した。一方、西部局及び B 滑走路南局では、シミュレーション結果が約10ppb程度過大となった。これらの地点では、特にGSE・APUの寄与率が大きく、今後は排出係数などを見直す必要がある。

誤差が生じた地点では、GSE及びAPUの寄与率が大きかった。特にGSEは国内の排出係数の情報が得られなかったため、海外の文献値を設定していることから、実態よりも過大に見積っている可能性が高い。また、 CO や PM_{10} 等の航空機からの排出量が少ない物質は、バックグラウンド濃度が大部分を占めているため、慎重に設定する必要がある。今回の遺産では、空港周辺で特に濃度が低い常時監視局の平均値を用いた結果、良く一致した。

今回の結果から、EDMSによって比較的精度よく再現できることが確認されたため、今後はこれらの評価手法を他空港へ展開し、国内における航空機関連の排ガスの影響量を把握することが重要と考えられる。

また、EDMSでは、個別の発生源の情報を詳細に設定することが可能であるため、排ガス規制を実施した際の効果の予測や航空機の小型化やGPU利用率の増加等の運航形態の変化等の将来予測に利用できると考えられる。

5.2 船舶

航行中の船舶排ガスの影響を把握するため、神奈川県観音崎公園にて実測調査を行った。調査期間は、南寄りの風が卓越し、船舶の寄与が最も大きいと考えられる夏季(8月25～9月9日)に実施した。

実測地点における大気環境を把握するため、大気汚染物質測定結果を中心に分析を行った結果、NO及びSO₂は午前8時頃、Sulfateは午前9時～10時頃に顕著なピークが見られた(午前のピーク)。また、NO₂はこれらの物質ほど顕著ではないが、夕方ごろに連続したピークが出現することが多かった(午後のピーク)。次に、これらのピークが見られた日を対象にケーススタディを実施し、船舶航行実績及び気象状況と比較した結果、実測地点における実測値が大きくなるのは、①航路方向からの風が卓越し、かつ、②実測地点付近の船舶航行量が多いときであることが分かった。

実測地点における午前のピークの発生要因の概要を図102に示す。午前のピークが発生した際の風向は、北寄りの風と南寄りの風の二通りであった。風向別のNO/NO₂比を比較すると、北寄りの風はNO₂中心、南寄りの風はNO中心であった。各風向に影響を与えている要因は図102に示すとおり。

一方、午後のピークは南風が卓越する場合に発生しており、午前のピークの南寄りの風と同様のパターンと同様に船舶排ガスによって生じていると考えられる。また、午後のピークは午前のピーク程顕著に高濃度にはならず、その分、小刻みなピークが多く見られた。ピークが顕著に見られる物質も午前のピークがNO、SO₂、Sulfateであったのに対して、午後のピークはNO₂のピークが最もよく見られた。午前のピークと午後のピークでNO/NO₂比率が異なる理由は大気中の光化学反応で説明できる可能性がある。

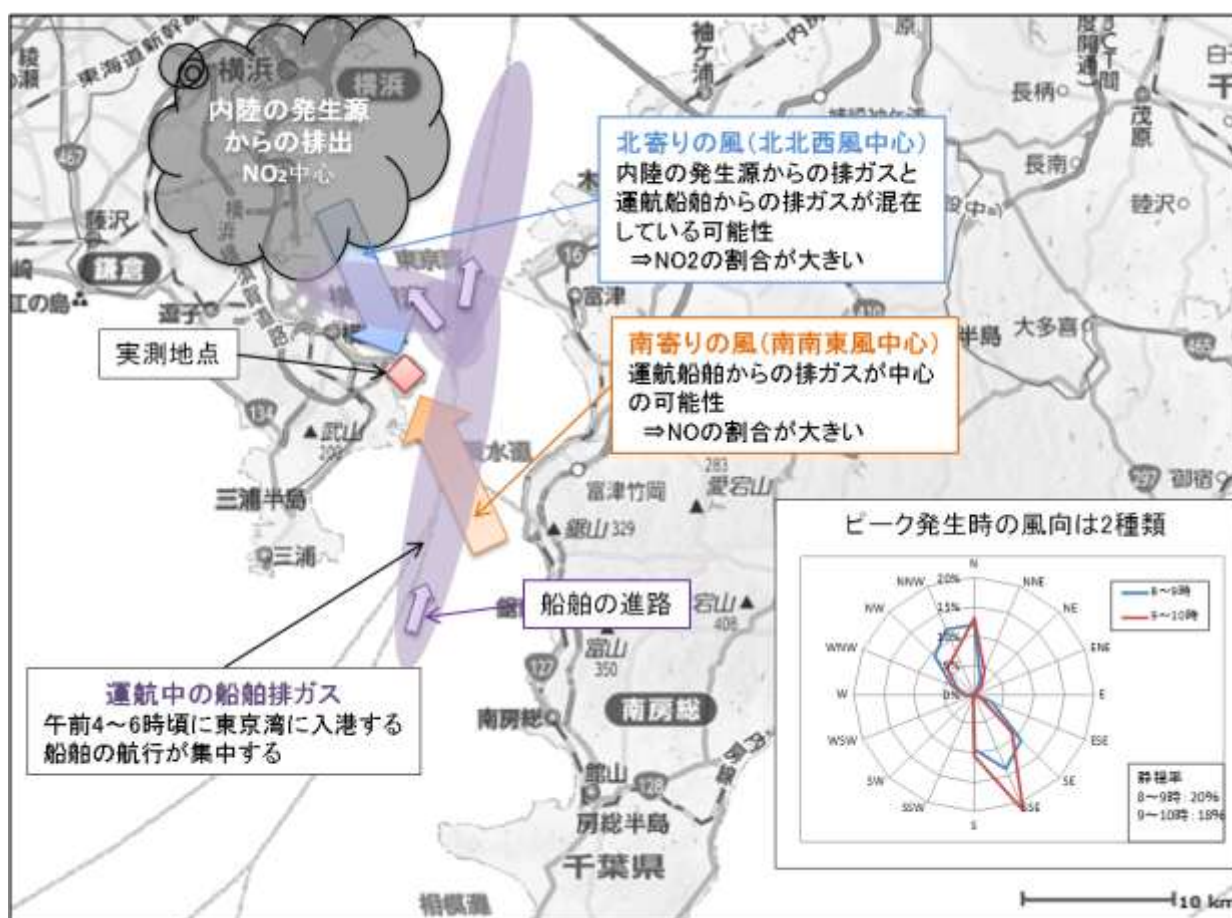


図 102 実測地点における午前のピーク概要

5.3 国際動向調査

航空機に関しては、NO_xの排出基準が徐々に強化されている。航空機から排出される大気汚染物質による大気環境への影響は、国際的にも今年度調査で実施したようなモデル評価が行われており、評価事例等を引き続き収集することによって、我が国における評価手法の更なる改善につながる可能性がある。

また、既存の排出基準に追加的な規制と、不揮発性PMのための排出基準の策定が進行中であり、具体的な基準値についても、ICAOにおいて2016年を目標に最終化することが目標とされており、そのベースとして大気環境への影響等に関するモデル評価等が行われる予定となっていることもあり、動向を注視する必要があると考えられる。さらに、現時点で具体的に検討されていない揮発性PMに関しても、将来的には規制等の施策が検討される可能性が残っており、こうした物質による健康影響等の知見や排出削減技術等の動向に関して引き続き情報を収集することが望ましいと考えられる。

船舶排出ガスの規制基準については、今年度の調査期間においては目立った動きはなかったものの、LNG燃料船等の代替燃料が普及することが予測された。このような動きは今後、我が国において何らかの対応が必要となる可能性があり、また大気環境の更なる向上のためにも、引き続き動向を収集してゆくことが重要と考えられる。