

4 ECA for N 設定の効果に対する海域間比較

2章で詳細な検討を行った関東計算領域の解析を基に、日本計算領域、中部計算領域、近畿計算領域、瀬戸内計算領域についても各計算領域における陸上の環境改善効率指標を比較・解析することで、ECA for N 設定による効果について地域間比較を行った。なお、津軽計算領域は、陸域生態系への影響が考えられる領域として選定されたことから、生態系評価の比較として ΔN 沈着量と各領域を特徴付ける森林分布などからその改善効果の範囲を算定し、地域間比較を行った。

結果、「総合的に見て、2020年における東京湾に対するECA for N設定は現時点で有効と判断できるだけの絶対的な根拠はないと言わざるを得ない」という関東域計算領域に対する評価は、その他の海域にも当てはまると考える。

4.1 ECA for N 設定の効果に関する地域間比較の手法

ECA 設定が及ぼす大気質改善効果は、本事業においては原則的に陸上に居住する住民および陸上生態系に対する影響を見ている。例えば、これまで最大濃度地点や最大濃度削減現出地点は、陸上と考えられるグリッドから選出しているが、沿岸域には居住人口がなく労働人口も極端に少ない工業専用地域が含まれている。また、環境基準は工業専用地域には適用されない。したがって、居住人口に基づいた解析あるいは居住人口があるグリッドを評価対象とすることには意味があると考え、2.1.3節では陸上の環境改善効率指標を導入して改善の程度を考察した。

ここでは関東計算領域 (5km 解像度) と同様に、図 1.2-1 及び表 1.2-3 で示した日本計算領域 (20km 解像度)、中部計算領域 (5km 解像度)、近畿計算領域 (5km 解像度)、瀬戸内計算領域 (5km 解像度) についても陸上の環境改善効率指標を評価することで、ECA for N 設定による大気中濃度の改善効果の範囲についての地域間比較を試みる。大気中濃度の改善効果の範囲を算定することで、人体健康影響の効果も同様に比較・評価できるものと考えた。

また、図 2.1-13 で示した関東における A3 シナリオでの窒素沈着量の減少量 (ΔN 沈着量) は、東京湾周辺のみではなく沿岸部の広い範囲で一定の値が出現した。図 1.2-1 及び表 1.2-3 で示した津軽計算領域は、陸域生態系への影響が考えられる領域として選定されたものである。そのため、この ΔN 沈着量についても森林分布などからその改善効果の範囲を算定し、地域間比較を行う。

4.2 Δ 濃度・ Δ 窒素沈着量及び人口分布の算定方法について

ここでは、ECA for N 設定による ΔNO_2 濃度と ΔN 沈着量にそれぞれ人口分布と森林分布を乗じることで、ECA for N 設定による濃度・沈着量の改善効果の範囲を考察した。 Δ 濃度及び ΔN 沈着量は、ベースラインシナリオ (A0) 及び ECA 設定シナリオ (A3+) における年平均濃度の差分とした。

なお O_3 濃度は、2章における ECA for N の効果評価において、その対策としての ECA 設定の効果について一様な評価を行うことは現時点では難しいと判断したことから、ここでは地

域間比較解析の対象外とした。

ここで利用した人口分布は、国立社会保障・人口問題研究所が作成した2020年における推計値である。2020年への推計における基準人口には、平成17年国勢調査結果が適用されている (<http://www.ipss.go.jp/>)。

4.3 NO₂濃度・窒素沈着量の改善範囲の地域間比較

4.3.1 NO₂濃度

表4.3-1に、ECA for N設定によるベースライン(A0)からの排出削減量【 ΔNO_x 排出量】、 Δ 濃度に人口を乗じた値の領域内積算【 $\Sigma(\Delta\text{NO}_2\text{濃度}\times\text{人口})$ 、すなわち陸上の環境改善指標】、領域内で人口が存在するグリッド数、 $\Sigma(\Delta\text{NO}_2\text{濃度}\times\text{人口})\div\Delta\text{NO}_2$ 排出量(すなわち陸上の環境改善効率指標、表中B/A)の結果をまとめた。なお、ここでは全計算領域に共通して実施したA0シナリオ及びA3+シナリオにおける排出量推計及び大気質シミュレーションから同指標を計算した。従って、表2.1-7で示した関東の計算結果とは異なっている点に留意されたい。

日本計算領域に対して、4海域(東京湾・伊勢湾・大阪湾・瀬戸内海)における陸上の環境改善効率指標はいずれも日本全海域に規制を設けた場合の1.5倍以上となっており、一次汚染物質については、海域を限定して規制を設けたるN場合に環境改善効果が相対的に大きく得られるという結果を示した。

地方計算領域での陸上の環境改善効率指標を比較した場合、近畿(=730)と関東(=708)は概ね同程度の改善範囲となり、中部及び瀬戸内は相対的に小さい値を示した。

表 4.3-1 2020年におけるECA for N設定(A3+)によるO₂濃度の改善効果に対する地域間比較¹⁾

計算領域 (ECA 範囲)	ΔNO_x 排出量 (ton) 【A】	$\Sigma(\Delta\text{NO}_2\text{濃度}\times\text{人口})$ 【B】	グリッド数	B/A
日本 (50NM)	445,000	53,500,000	1,320	120
関東 (東京湾)	16,200	11,500,000	1,490	708
中部 (伊勢湾)	10,200	3,890,000	1,440	381
近畿 (大阪湾)	10,800	7,900,000	1,760	730
瀬戸内 (瀬戸内海)	86,500	17,000,000	3,710	197

(1) 本表は、全計算領域に共通して実施したA0シナリオ及びA3+シナリオにおける排出量推計及び大気質シミュレーション結果から作成した。従って、表2.1-7で示した関東の数値とは異なっている点に留意されたい。

4.3.2 ΔN 沈着量

本事業で整備した WRF/CMAQ では、図 4.3-1に示す 24 種類の土地利用条件を考慮して気象及び大気質シミュレーションを実行する。例えば図中の LC16 は「Water」であるが、遠洋では 5km 解像度グリッドの全てが海となるため、グリッド内の LC16 の比率は 100%を示している。逆に、沿岸部では 5km 解像度グリッド内に陸域と海域が混在するため、そのグリッド内の LC16 の比率は 100%未満となる。

ここでは、森林に対する窒素沈着量の改善範囲を算定することとし、ΔN 沈着量に図中の LC11~LC15 の「Forest」の分布を乗じることで ECA 設定による窒素沈着量の改善効果の範囲を考察した。なお、ここで用いた評価においては、全てのタイプの森林を等価に扱っており、森林のタイプによる窒素沈着に対する感受性・脆弱性等は考慮していない。

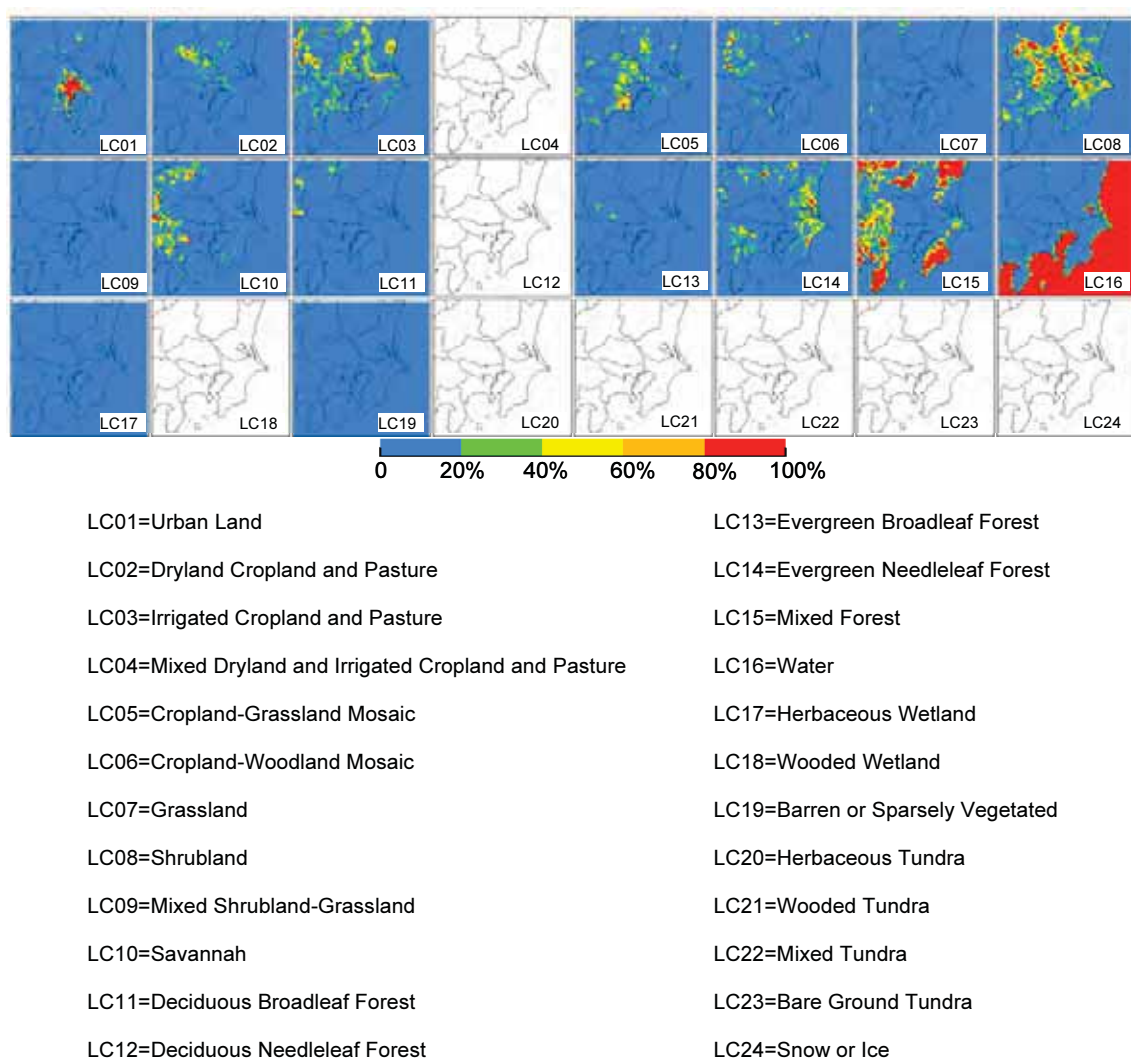


図 4.3-1 WRF/CMAQ シミュレーションで考慮した関東地方領域における土地利用分布

表 4.3-2に、ECA for N 設定によるベースライン (A0) からの排出削減量【 ΔNO_x 排出量】、 ΔN 沈着量に森林面積を乗じた値の領域内積算【 $\Sigma(\Delta\text{N}$ 沈着量 \times 森林面積)】、 $\Sigma(\Delta\text{N}$ 沈着量 \times 森林面積) \div Δ 排出量 (表中 B/A) の結果をまとめた。

地方計算領域での B/A 指標を比較した場合、近畿 (=0.0074) 及び瀬戸内 (=0.0069) は関東 (=0.0040) よりも大きい値を示したが、その値は2倍以内であり、関東と同様に窒素沈着量に占める船舶の寄与は少ないと見積もることが出来る。津軽海峡に至っては、5 海域の中でも相対的に小さい B/A の値となった。

表 4.3-2 ECA for N 設定 (A3+) による窒素沈着量の改善効果に対する地域間比較¹⁾

計算領域 (ECA 範囲)	ΔNO_x 排出量 (ton) 【A】	$\Sigma(\Delta\text{N}$ 沈着量 \times 森林面積) 【B】	B/A
関東 (東京湾)	16,200	64	0.0040
中部 (伊勢湾)	10,200	32	0.0031
近畿 (大阪湾)	10,800	80	0.0074
瀬戸内 (瀬戸内海)	86,500	599	0.0069
津軽 (津軽海峡)	12,700	42	0.0033

(1) 本表は、全計算領域に共通して実施した A0 シナリオ及び A3+シナリオにおける排出量推計及び大気質シミュレーションから作成した。

4.4 他の海域も含めた ECA for N の効果について

本章では、ECA for N 設定による ΔNO_2 濃度と ΔN 沈着量にそれぞれ人口分布と森林分布を乗じることで、ECA 設定による濃度・沈着量の改善効果の範囲を考察した。

以上から、「総合的に見て、2020 年における東京湾に対する ECA for N 設定は現時点で有効と判断できるだけの絶対的な根拠はないと言わざるを得ない」という関東域計算領域に対する評価は、その他の海域にも当てはまると考える。

5 ECA for S 設定の効果に対する海域間比較

2章で詳細な検討を行った関東計算領域の解析を基に、日本計算領域、中部計算領域、近畿計算領域、瀬戸内計算領域についても各計算領域における陸上の環境改善効率指標を比較・解析することで、ECA for S 設定の効果について地域間比較を行った。

陸上の環境改善効率指標より $PM_{2.5}$ の改善効果を判断すれば、関東に次いで近畿が他の計算領域に比較して高い値を示している。したがって、大阪湾においても東京湾と同じように 2020 年における ECA for S の効果を確認できると考えた。

5.1 ECA for S 設定の効果に関する地域間比較の手法

ECA 設定が及ぼす大気質改善効果は、本事業においては原則的に陸上に居住する住民および陸上生態系に対する影響を見ている。本章では、4章で示した ECA for N の効果に関する地域間比較の手法を ECA for S にも応用し、図 1.2-1 及び表 1.2-3 で示した各計算領域について陸上の環境改善効率指標を評価することで、ECA for S 設定による大気中濃度の改善効果の範囲についての地域間比較を試みる。また、大気中濃度の改善効果の範囲を算定することで、人体健康影響の効果も同様に比較・評価できるものと考えた。

硫黄沈着量の減少量 (ΔS 沈着量) は、図 3.1-16 で確認された関東における A3 シナリオでの ΔS 沈着量が東京湾周辺に限定されたものであり、陸域の酸性化には将来的にも大きく関与しないと考えたため、 ΔS 沈着量による地域間比較は行わないこととした。

5.2 Δ 濃度及び人口分布の算定方法について

ここでは、ECA for S 設定による $SO_2 \cdot PM_{2.5}$ 濃度の減少量 (Δ 濃度) にそれぞれ人口分布を乗じることで、ECA for S 設定による濃度の改善効果の範囲を考察した。 Δ 濃度は、ベースラインシナリオ (A0) 及び ECA 設定シナリオ (A3+) における年平均濃度の差分とした。

ここで利用した人口分布は、国立社会保障・人口問題研究所が作成した 2020 年における推計値である。2020 年への推計における基準人口には、平成 17 年国勢調査結果が適用されている (<http://www.ipss.go.jp/>)。

5.3 SO₂・PM_{2.5}濃度の改善範囲の地域間比較

5.3.1 SO₂濃度の改善範囲の地域間比較

表 5.3-1に、ECA for S 設定によるベースライン (A0) からの排出削減量【 Δ SO₂排出量】、 Δ SO₂濃度 に人口を乗じた値の領域内積算【 $\Sigma(\Delta$ SO₂濃度 \times 人口)】、すなわち陸上の環境改善指標【 $\Sigma(\Delta$ SO₂濃度 \times 人口) \div Δ SO₂排出量】(すなわち陸上の環境改善効率指標、表中 B/A) の結果をまとめた。なお、ここでは全計算領域に共通して実施した A0 シナリオ及び A3+シナリオにおける排出量推計及び大気質シミュレーションから同指標を計算した。従って、表 3.1-10 で示した関東の計算結果とは異なっている点に留意されたい。

日本計算領域に対して、4 海域 (東京湾・伊勢湾・大阪湾・瀬戸内海) における B/A 指標はいずれも日本全海域に規制を掛けた場合よりも大きくなっており、一次汚染物質については、海域を限定して規制を掛けた場合に環境改善効果が相対的に大きく得られるという結果を示した。

地方計算領域での陸上の環境改善効率指標を比較した場合、近畿 (=509) と関東 (=558) は概ね同程度の改善範囲となり、中部及び瀬戸内は相対的に小さい値を示した。

表 5.3-1 2020 年における ECA for S 設定 (A3+) による SO₂濃度の改善効果に対する地域間比較⁽¹⁾

計算領域 (ECA 範囲)	Δ SO ₂ 排出量 (ton) 【A】	$\Sigma(\Delta$ SO ₂ 濃度 \times 人口) 【B】	グリッド数	B/A
日本 (50NM)	295,000	36,400,000	1,320	123
関東 (東京湾)	14,300	7,980,000	1,490	558
中部 (伊勢湾)	8,060	2,510,000	1,440	312
近畿 (大阪湾)	8,800	4,470,000	1,760	509
瀬戸内 (瀬戸内海)	56,200	9,930,000	3,710	177

(1) 本表は、全計算領域に共通して実施した A0 シナリオ及び A3+シナリオにおける排出量推計及び大気質シミュレーション結果から作成した。従って、表 3.1-10 で示した関東の数値とは異なっている点に留意されたい。

5.3.2 PM_{2.5}濃度の改善範囲の地域間比較

表 5.3-2に、ECA for S 設定によるベースライン A3+における(A0) からの排出削減量【 Δ PM 排出量】、 Δ PM_{2.5}濃度 に人口を乗じた値の領域内積算【 Σ (Δ PM_{2.5}濃度×人口) 、すなわち陸上の環境改善指標】、領域内で人口が存在するグリッド数、 Σ (Δ PM_{2.5}濃度×人口) ÷ Δ PM 排出量 (すなわち陸上の環境改善効率指標、表中 B/A) の結果をまとめた。

ECA for S では、PM 中の硫酸塩は減少するものの元素状炭素 (EC : Elemental Carbon) および可溶性有機成分 (SOF : Soluble Organic Fraction) が大きく削減されないため、SO₂よりも排出削減量当たりの濃度減少割合が小さい。ただし、これを踏まえても東京湾と日本域でも B/A 指標の差異が約 1.6 倍と小さくなっており、規制される海域の外側に、環境改善効果が期待される領域が薄く広く現出することも併せて伺われる。特に瀬戸内では、規制される海域に対して、環境改善効果が期待される領域が海上に多いためか、日本全海域に規制を掛けた場合に比較して、効果が小さく算定された。

さらに、4 海域 (東京湾・伊勢湾・大阪湾・瀬戸内海) の比較で見た場合、関東計算領域及び近畿計算領域の濃度改善効果が他の 2 海域に対して相対的に大きく、中でも瀬戸内計算領域の濃度改善効果は小さいと考えられた。

表 5.3-2 ECA for S 設定 (A3+) による PM_{2.5}濃度の改善効果に対する地域間比較⁽¹⁾

計算領域 (ECA 範囲)	Δ 排出量 (ton) : A	Σ (Δ 濃度×人口) : B	グリッド数	B/A
日本 (50NM)	42,700	43,300,000	1,320	1,020
関東 (東京湾)	1,950	3,220,000	1,490	1,651
中部 (伊勢湾)	1,100	1,200,000	1,440	1,090
近畿 (大阪湾)	1,220	1,480,000	1,760	1,213
瀬戸内 (瀬戸内海)	7,850	4,980,000	3,710	634

(1) 本表は、全計算領域に共通して実施した A0 シナリオ及び A3+シナリオにおける排出量推計及び大気質シミュレーションから作成した。従って、表 3.1-10 で示した関東の数値とは異なっている点に留意されたい。

5.4 他の海域も含めた ECA for S の効果について

本章では、ECA for S 設定による $\text{SO}_2 \cdot \text{PM}_{2.5}$ 濃度の減少量 (Δ 濃度) に人口分布を乗じることで、ECA for S 設定による $\text{SO}_2 \cdot \text{PM}_{2.5}$ 濃度の改善効果の範囲を考察した。 Δ 濃度は、全ての計算領域で共通してシミュレーションを実施した A0 シナリオ及び A3+シナリオにおける年平均濃度の差分とした。

表 5.3-2における陸上の環境改善効率指標より $\text{PM}_{2.5}$ の改善効果を判断すれば、関東に次いで近畿が高い値を示している。濃度の改善範囲は人体健康影響にそのまま結びつくものであり、3章では、東京湾に対する ECA for S は主に $\text{PM}_{2.5}$ による人体健康影響評価において有効であるとの評価を行った。つまり、近畿においても関東と同じような人体影響評価に係る ECA for S の効果を確認できる可能性がある。以上から、大阪湾においても東京湾と同じように 2020 年における ECA for S の効果を確認できると考えた。

発生源から直接排出されるブラックカーボン (BC) や Sulfate などの $\text{PM}_{2.5}$ は、発生源近傍で高濃度となる。つまり、大気汚染の抑制には停泊船舶に対して措置を講じることが有効となる場合も考えられる。そこで 6 章では、関東に加えて近畿についても、例えば港湾区域内のみ (≒停泊船舶) といった地理的に限定した ECA for S 設定でも同等の濃度改善範囲及び人体健康影響評価が得られるかどうかを解析した。

6 ECA 設定における地理的範囲・導入時期と大気環境改善効果の関係

ここでは、前章までの結果を踏まえて、さらに ECA 設定における地理的範囲・導入時期と大気環境改善効果の関係について整理を行った。

第一に、地理的範囲と大気環境改善効果の関係については、関東計算領域及び近畿計算領域について、港湾区域内のみ（≡停泊船舶）を ECA 対象とした場合など、地理的範囲を限定した ECA for S 設定を行った場合について、陸上の環境改善効率指標を用いて、シナリオ間の比較・検討を行った。

SO₂に関して陸上の環境改善効率指標に着目すると、停泊船舶のみ ECA for S 設定とした場合の改善効果は、東京湾もしくは大阪湾の全船舶を ECA for S のとした場合の改善効果よりも大きい値を示す結果となった。東京湾については、主要航路帯を除いた地理的範囲の設定についても、同様の結果が得られた。

他方、PM_{2.5}に関しては、東京湾では SO₂ の場合とは異なり、湾内の全船舶を ECA for S 設定の対象とした場合の指標値が他のシナリオよりもより高くなった。これに対し、大阪湾では停泊船舶のみを ECA for S 設定とした場合の指標値の方が高くなる。関東において、シナリオ間における指標間の傾向が PM_{2.5} と SO₂ で大きく異なった要因の 1 つとして、ここで設定したシナリオが二次粒子（Nitrate）の削減も期待できる ECA for N シナリオも考慮されていたことが挙げられる。

以上をまとめると、停泊中船舶のみに ECA 設定する場合は、東京湾及び大阪湾の全域に ECA 設定する場合よりも「陸上の環境改善効率指標」は大きくなるが、「陸上の環境改善指標」は小さくなる。3.1.3 (3) 節においては、陸上の改善効率指標を重視し、東京湾全域に ECA を設定した方が米国の沿岸 200NM に ECA 設定する場合よりも同指標が大きいことをもって、ECA for S 設定の効果があると結論できる。このように、「陸上の環境改善効率指標」を重視するか、「陸上の環境改善指標」を重視するかは地理的スケールなどを考慮してケースバイケースで判断されると考える。

第二に、ECA 設定導入時期と大気環境改善効果の関係については、Global Switch の導入のみを考慮したシナリオでは、燃料中の硫黄分が一般海域において 0.5%まで改善されることに伴い、ECA 設定シナリオとほぼ同程度の大气濃度削減効果が SO₂ 及び PM_{2.5} について得られることが期待できる。ただし、Global Switch の導入は 2020 年あるいは 2025 年であり、日本における ECA for S の導入があったとしても最短で 2020 年近くにずれ込むと予想されるので、この 5 年間の導入時期の差が要因となって生じる人体健康影響評価を考察した。各年度における死亡者数の差分は 5 年平均で 300 人程度となる。これは、対象人口の約 10⁻⁵ 程度に相当する。ただし、この数値は参考に留めるのが適切であると考えられる。仮に IMO において、Global Switch の適用が 2025 年に延長されるという決定がなされた際には、以上の点も考慮しながら 2025 年より以前の ECA for S の導入について再度検討する必要があるだろう。

さらに、ECA for N の導入時期について考察を試みた。2020 年における ECA for N 設定は沿岸部において O₃ 濃度の増加を導く可能性が指摘された。しかしながら、2020 年以降で適切な計算対象年

を選択し、対象年に対応した陸上、特に NMVOCs 排出源の定量的な削減シナリオを設定できた場合には、NO_x、NMVOCs 排出のいずれも 2020 年に比較して大きな削減量が期待できるため、明らかな O₃ に係る環境改善効果が期待できる。ただし、近年の顕在化が指摘されている越境大気汚染など、今後、ECA for N 設定の時期やそれに係る O₃ 濃度への改善効果の関係を評価する際には、様々な項目を包括的に考慮してシナリオ設定を行うことが求められる。

6.1 ECA for S 設定の地理的範囲と大気環境改善効果の関係

3章において、PM削減量1トン当たりのPM_{2.5}濃度に対する改善効果は、海上の排出源でありながら、船舶は自動車と同等であると評価された。更に、「陸上の環境改善効率指標」及び「人体健康影響」では、PM_{2.5}濃度に関連した改善効果を見た場合、東京湾を対象としたECA for S設定は米国のECA設定よりも効率的な効果をもたらすものと考えられた。また5章では、近畿においても関東と同じような評価結果が確認できる可能性を指摘した。

発生源から直接排出されるSO₂、並びにブラックカーボン(BC)やSulfateなどのPM_{2.5}は、発生源近傍で高濃度となる。燃料消費量で見た場合、日本全国で航行船舶12NM以内：378万トン(内航：260万トン、外航：118万トン¹)、停泊船舶：127万トン(内航：73万トン、外航：54万トン)であり、燃料消費量の総量では停泊船舶の方が少ないが、船舶の存在確率を考えれば港湾内での停泊船舶からの排出の方が面積当り強度は大きくなる。例えば、東京湾内におけるSO₂の港湾内における停泊船舶からの最大排出強度(ton/year/grid)は506 ton/yr/gridであるのに対し、浦賀水道内の航行中船舶からの最大排出強度は64 ton/yr/gridである。

つまり、大気汚染の抑制には停泊船舶に対してECA for S相当の排出規制を講じることが陸上の環境改善効果に対して効果的である場合も考えられる。そこで、ここでは関東及び近畿について、港湾区域内のみ(≡停泊船舶)を対象とした地理的に限定したECA for S設定でも、同様の陸上の環境改善効率指標が期待できるかどうかを解析した。

ここで検討したECA for S設定シナリオの内容は、表6.1-1に示す通り、ECA for S設定の適用対象を(i)東京湾・大阪湾内の全船舶(航行+停泊)、(ii)停泊船舶のみ、(iii)航行船舶のみ、(iv)停泊船舶及び主要航路帯(図6.1-1参照)を除いた航行船舶、の4種類であり、各計算ケース別に濃度改善範囲を算定してECA for S設定の効果を比較した。

主要航路帯は、東京湾及び大阪湾内で航行船舶による面積排出強度が上位15%となる海域としたが、その範囲は図6.1-1に示す通り、東京湾では浦賀水道から内湾へ伸びる航路帯に相当した。以上の考察から、大阪湾において主要航路帯を地理的に抽出することは困難であると考え、主要航路帯を除く海域をECA for S対象とする大気質シミュレーションは、関東計算領域においてのみ実施した。

なお、航行中の燃料の切り替えオペレーションには、ブラックアウトあるいはエンジンストップ発生の危険性が伴う。浦賀水道のような航行密度の高い海域においてはこのようなリスクは避けるべきであるが、ここではそのような安全性の観点からの考察は行っていない。

¹ 漁船は同じ12NM以内で軽油が66万トン、A重油が23万トン。

表 6.1-1 ECA for S の地理的詳細化に関するシミュレーションの概要

計算領域	ECA 設定範囲	ΔSO_2 排出量	ΔPM 排出量
関東 (東京湾)	全船舶 (停泊+航行)	14,300	1,950
	停泊船舶のみ ECA for S 対象	8,680	1,150
	航行船舶のみ ECA for S 対象	5,650	804
	主要航路帯を除く 海域を ECA for S 対象 (停泊船舶を含む)	10,300	1,370
近畿 (大阪湾)	全船舶 (停泊+航行)	8,790	1,220
	停泊船舶のみ ECA for S 対象	4,210	557
	航行船舶のみ ECA for S 対象	4,590	662
	主要航路帯を除く 海域を ECA for S 対象 (停泊船舶を含む)	6,420	857

※ 主要航路帯は、東京湾内の航行船舶による面積排出強度 (ton/yr/grid) が上位 15%となる海域と設定する (図 6.1-1参照)

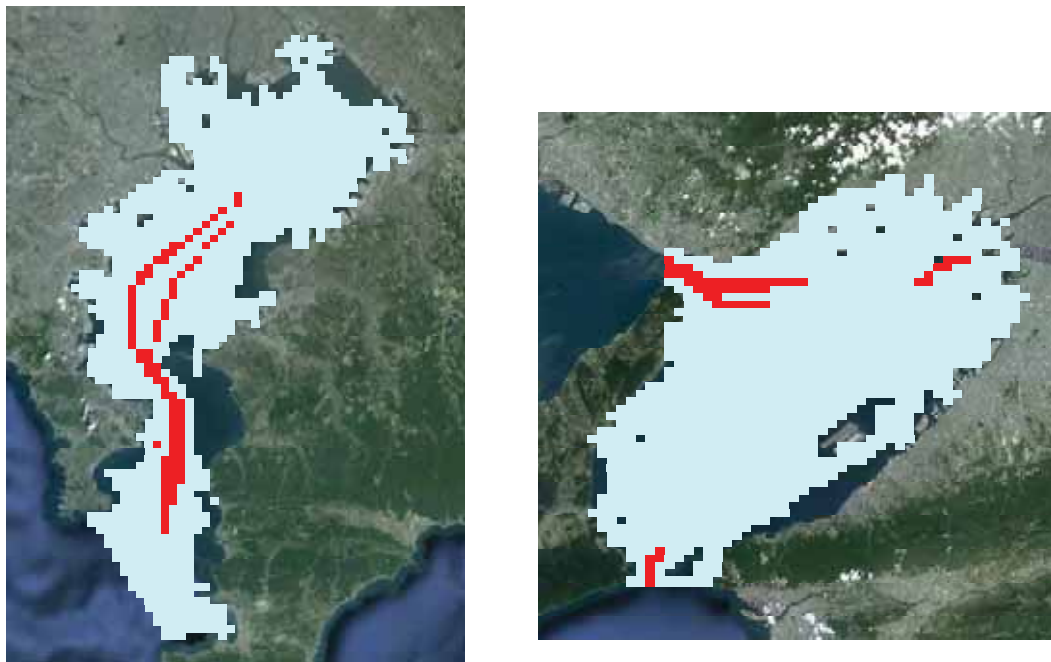


図 6.1-1 東京湾 (左図) 及び大阪湾 (右図) において航行船舶による面積排出強度 (SO_2/PM) が上位 15%となる海域 (赤いメッシュ)

6.1.1 ECA for S 設定の地理的範囲と SO₂ 濃度の改善効果の関係

前章までの議論と同様、ECA for S 設定による陸上の環境改善指標 ($\Sigma(\Delta \text{濃度} \times \text{人口})$) を、ECA for S 設定による SO₂ 及び PM 排出削減量 ($\Delta \text{排出量}$) で除すことで、陸上の環境改善効率指標 (削減努力当たりの改善効果を評価する指標) が得られると考えた。

表 6.1-2 に、ECA for S 設定の地理的範囲と SO₂ 濃度の改善効果の関係をまとめた。また、図 6.1-2 には、各 ECA 設定シナリオにおける陸上の環境改善指標 ($\Sigma(\Delta \text{SO}_2 \text{濃度} \times \text{人口})$) の水平分布を示した。

表中の陸上の環境改善効率指標 (B/A) を ECA for S 設定範囲で比較した場合、停泊船舶のみ ECA for S 設定とした場合の改善効果は、東京湾もしくは大阪湾の全船舶を ECA for S のとした場合の改善効果よりも大きい値を示す結果となった。東京湾については、主要航路帯を除いた地理的範囲の設定についても、同様の結果となった。

SO₂ は一次発生される大気汚染物質であり、発生源近傍で高濃度を示す。加えて、東京湾及び大阪湾では、停泊船舶が集中する沿岸近傍では人口密度も高い状況にあることより、停泊船舶が及ぼす SO₂ 濃度の改善効果への寄与は大きい結果となった。

表 6.1-2 ECA for S 設定の地理的範囲と SO₂ 濃度の改善効果の関係⁽¹⁾

ECA for S 設定範囲	ΔSO_2 排出量 (ton/yr) 【A】	$\Sigma(\Delta \text{SO}_2 \text{濃度} \times \text{人口})$ 【B】	【B/A】
<u>関東計算領域</u>			
東京湾内の全船舶 ⁽²⁾	14,300	7,980,000	558
東京湾内の停泊船舶	8,680	5,180,000	597
東京湾内の航行船舶	5,650	1,370,000	242
東京湾内の主要航路帯以外 ⁽³⁾	10,300	6,160,000	598
<u>近畿計算領域</u>			
大阪湾内の全船舶 ⁽²⁾	8,790	4,470,000	509
大阪湾内の停泊船舶	4,210	3,000,000	713
大阪湾内の航行船舶	4,590	1,440,000	314

(1) 本表は、関東及び近畿計算領域で共通して実施した A0 シナリオ及び A3+シナリオにおける排出量及び大気中濃度から作成した。

(2) 全船舶を対象とした排出削減量 (東京湾：14,300 ton/yr、大阪湾：8,790 ton/yr) のうち、漁船の割合は東京湾：0.34% (49 ton/yr)、大阪湾：0.98% (86 ton/yr) 程度であった。これは、漁船が少ないこと、また低硫黄燃料を使用していることで ECA for S による燃料規制効果が小さいことに起因する。

(3) 東京湾内の航行船舶による面積排出強度が上位 15%となる海域以外を ECA for S とした (図 6.1-1参照)。停泊船舶は ECA for S 設定の対象となる。

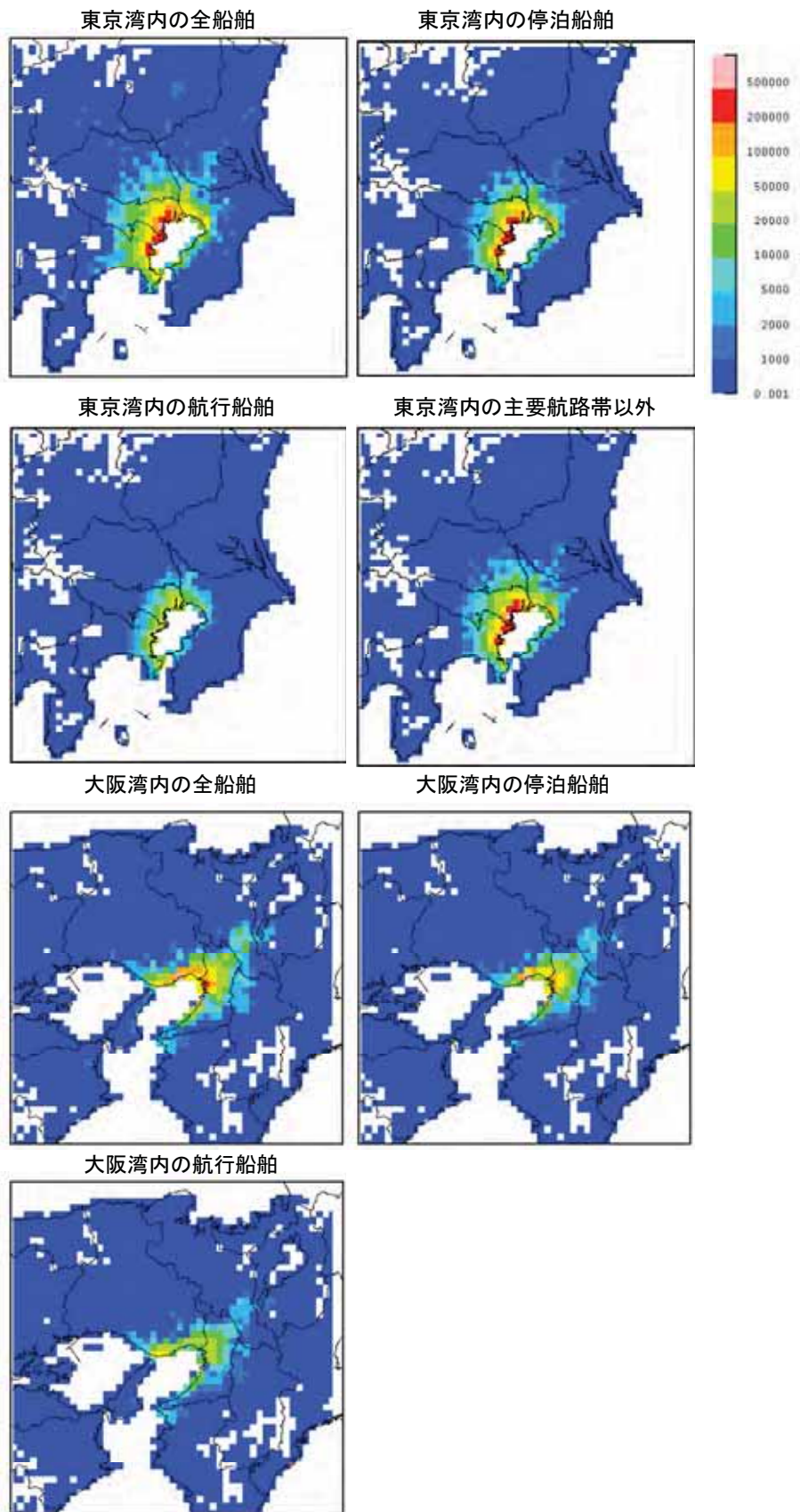


図 6.1-2 各 ECA 設定シナリオにおける陸上の環境改善指標 ($\Sigma (\Delta \text{SO}_2 \text{ 濃度} \times \text{人口})$) の水平分布

昨年度に実施したシミュレーションでは、最大濃度現出地点における濃度削減幅と排出削減量の間には一定の線形性が確認できた。これに対し、陸上の排出削減量と環境改善指標の関係では、人口及び排出削減量の地理的分布に影響を受けることでその線型性は崩れることが予想される。

図 6.1-3に、排出削減量 (ΔSO_2 排出量) によって期待できる陸上の環境改善指標 ($\Sigma (\Delta SO_2 \text{濃度} \times \text{人口})$) の比較を図化した。各点と原点を結んだ直線の傾きは、陸上の環境改善効率指標を示す。関東における各シナリオでは、航行+船舶、航行 15%以外、停泊の3点はほぼ同一直線上に乗っており、同等の陸上の環境改善効率指標を示しているが、航行のみの値は、他の3点より傾きが小さくなっており、表 6.1-2 の考察を裏付ける。他方で、近畿では停泊船舶と航行船舶における ECA 設定の効果が逆転していることが見て取れる。

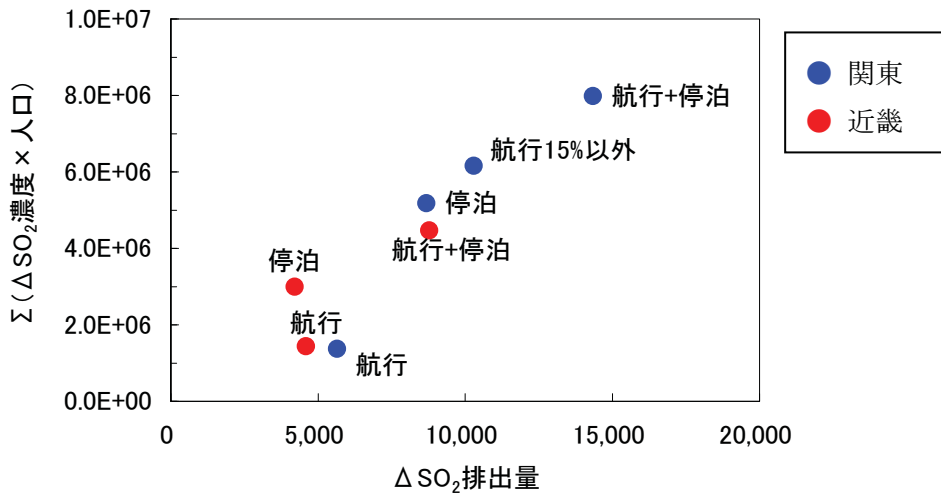


図 6.1-3 SO_2 排出削減量 (ΔSO_2 排出量) によって期待できる陸上の環境改善指標 ($\Sigma (\Delta SO_2 \text{濃度} \times \text{人口})$) の関係

結果として、停泊船舶のみを ECA for S とした場合が最も効率的な ECA 設定であると見なすことができる。しかしながら、効果の絶対値を示す陸上の環境改善指標 (図の Y 軸) でみれば、停泊船舶を ECA for S 設定とした場合の同値は、全船舶を対象としたものよりも東京湾で 35 %、大阪湾で 33 %ほど減少する結果となり、停泊及び航行船舶の両方を ECA for S の対象とする方が環境改善の絶対値が大きくなる。

6.1.2 ECA for S 設定の地理的範囲と PM_{2.5} 濃度の改善効果の関係

続いて、表 6.1-3に、ECA for S 設定の地理的範囲と PM_{2.5} 濃度の改善効果の関係をまとめた。また、図 6.1-4には、各 ECA 設定シナリオにおける陸上の環境改善指標（ Σ （ Δ PM_{2.5} 濃度×人口））の水平分布を示した。

ここでは、関東及び近畿計算領域で共通して実施した A0 シナリオ及び A3+シナリオにおける大気中濃度差から改善効果を算出している。A3+シナリオとは、A3 シナリオと同様、ECA for S と ECA for N の両方を考慮したシナリオである。しかしながら、両シナリオでは ECA for N の対象船舶数が大きく異なり、A3+における NO_x 排出削減量がより大きい（表 1.2-1 参照）。

ECA for N は大気中における二次粒子（Nitrate）の生成にも寄与する。更に、A3+は 2020 年よりも先の将来（船齢が 30 年と仮定すれば 2046 年）において実現するシナリオであることから、ここで確認できた NO_x 削減に起因する PM_{2.5} の改善効果を持って ECA for N の有効性を評価することは行わない点に留意されたい。

表中の陸上の環境改善効率指標（B/A）を ECA for S 設定範囲で比較した場合、東京湾では SO₂ の場合とは異なり、全船舶を ECA for S 設定の対象とした場合の指標が他のシナリオよりも際立って大きい値を示す結果となった。これに対し、大阪湾では停泊船舶のみを ECA for S 設定とした場合の指標が、全船舶を ECA for S のとした場合よりも大きい値を示す結果となった。

表 6.1-3 ECA for S 設定の地理的範囲と PM_{2.5} 濃度の改善効果の関係⁽¹⁾

ECA for S 設定範囲	Δ PM 排出量 (ton/yr) 【A】	Σ (Δ PM _{2.5} 濃度×人口) 【B】	【B/A】
<u>関東計算領域</u>			
東京湾内の全船舶 ⁽²⁾	1,950	3,220,000	1,651
東京湾内の停泊船舶	1,150	762,000	663
東京湾内の航行船舶	804	411,000	511
東京湾内の主要航路帯以外 ⁽³⁾	1,370	1,010,000	737
<u>近畿計算領域</u>			
大阪湾内の全船舶 ⁽²⁾	1,220	1,480,000	1,213
大阪湾内の停泊船舶	557	772,000	1,386
大阪湾内の航行船舶	662	662,000	1,000

- (1) 本表は、関東及び近畿計算領域で共通して実施した A0 シナリオ及び A3+シナリオにおける排出量及び大気中濃度から作成した。
- (2) 全船舶を対象とした排出削減量（東京湾：1,950 ton/yr、大阪湾：1,220 ton/yr）のうち、漁船の割合は東京湾：0.34 % (7 ton/yr)、大阪湾：0.96 % (12 ton/yr) 程度であった。これは、漁船が少ないこと、また低硫黄燃料を使用していることで ECA for S による燃料規制効果が小さいことに起因する。
- (3) 東京湾内の航行船舶による面積排出強度が上位 15%となる海域以外を ECA for S とした（図 6.1-1参照）。停泊船舶は ECA for S 設定の対象となる。

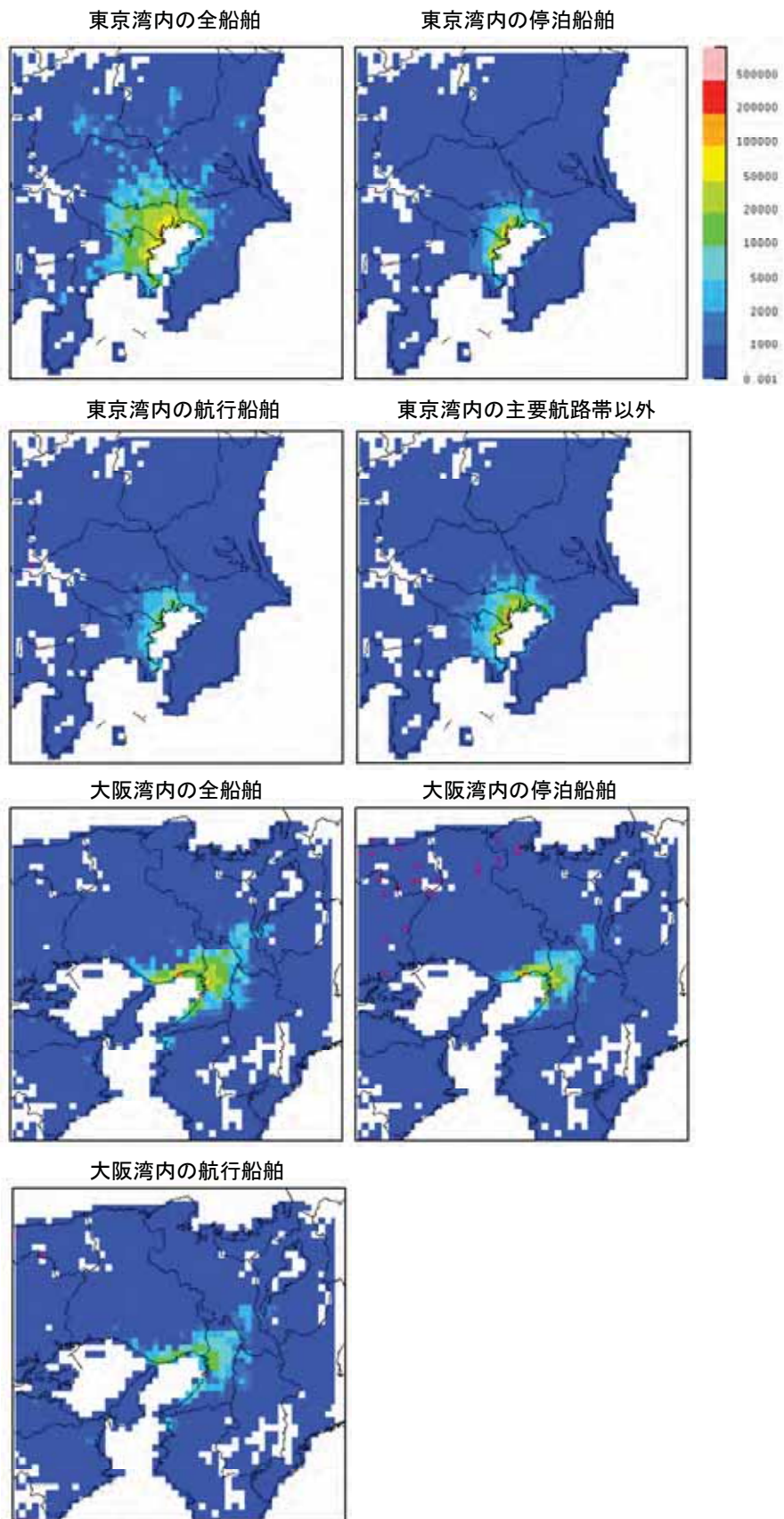


図 6.1-4 各 ECA 設定シナリオにおける陸上の環境改善指標 ($\Sigma (\Delta PM_{2.5} \text{濃度} \times \text{人口})$) の水平分布

図 6.1-5に、排出削減量 (ΔPM 排出量) によって期待できる陸上の環境改善指標 ($\Sigma (\Delta PM_{2.5} \text{ 濃度} \times \text{人口})$) の比較を図化した。近畿では SO_2 の場合と同様、停泊船舶と航行船舶における ECA 設定の効果が逆転している。関東は、航行及び停泊船舶を ECA 設定とした場合の陸上の環境改善指標が、他の 3 つのシナリオが示す線型関係から大きく外れ、効率が低いことを示す結果となった。

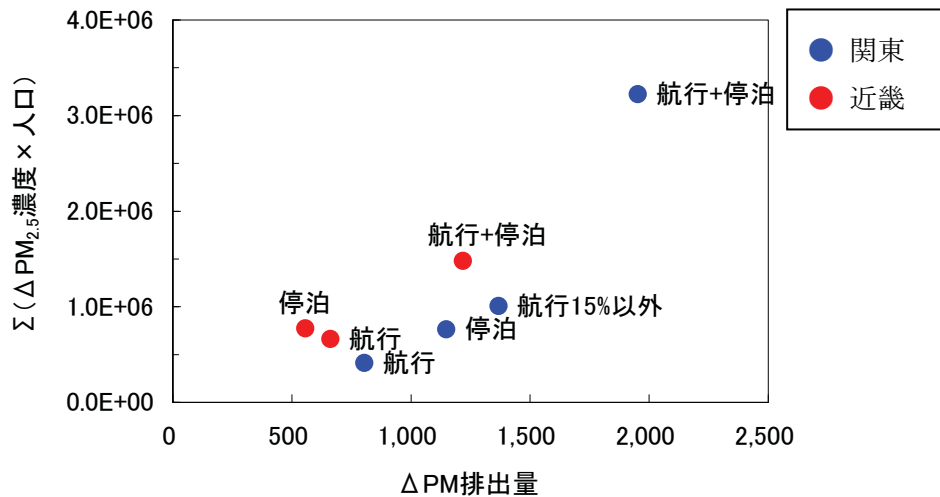


図 6.1-5 PM 排出削減量 (ΔPM 排出量) によって期待できる陸上の環境改善指標 ($\Sigma (\Delta PM_{2.5} \text{ 濃度} \times \text{人口})$) の関係

関東において、シナリオ間における陸上の環境改善効率指標 (B/A) の差が $PM_{2.5}$ と SO_2 で大きく異なった要因の 1 つとして、ここで設定したシナリオが二次粒子 (Nitrate) の削減も期待できる ECA for N シナリオも考慮されていたことが挙げられる。

一次粒子は SO_2 と同様、発生源近傍で高濃度を示すが、二次粒子はガス状物質の輸送過程における化学反応によって生成されるため、高濃度を示す範囲が発生源近傍になるとは限らない。関東計算領域では平野部が広く、航行船舶由来の二次粒子が内陸まで及んだことで、船舶を ECA 設定 (S 及び N) とした場合の改善効果が大きくなったものと考えられる。他方、大阪湾において停泊船舶のみを ECA 設定 (S 及び N) とした場合の改善効果が、全船舶を ECA 設定 (S 及び N) とした場合の改善効果よりも大きい値を示したことについては、(i) 大阪湾に面する平野部が比較的狭いため、ガス状物質の輸送範囲が狭いこと、(ii) その狭い平野部に人口が集中していること、という 2 つの理由が考えられる。

なお、本解析では 2 章及び 4 章において関東及び近畿域における ECA for N 設定は「有効と主張するだけの科学的な根拠はない」と結論している。この結論は、2020 年における ECA 設定を想定条件 (A3 シナリオ) に基づいており、上記の A3+シナリオ下での $PM_{2.5}$ 中の Nitrate の大幅な減少と矛盾するものではない。

何れにせよ、効果の絶対値を示す陸上の環境改善指標 ($\Sigma\Delta PM_{2.5}$ 濃度 \times 人口) でみれば、停泊船舶を ECA 設定 (S 及び N)とした場合の同値は、全船舶を対象としたものよりも東京湾で 76 %、大阪湾で 51 %も減少してしまうため、これら 2つの設定が同等の濃度改善範囲をもたらしていると結論することは出来ない。

以上の考察の検証するため、 $PM_{2.5}$ に含まれる二次粒子のうちで、ECA for S によって最も濃度改善が見込まれる Sulfate のみを対象に、ECA for S 設定の地理的範囲とその濃度の改善効果の関係をまとめた。

表 6.1-4に、ECA for S 設定の地理的範囲と Sulfate 濃度の改善効果の関係を示す。また図 6.1-6に、排出削減量 (Δ sulfate 排出量) によって期待できる陸上の環境改善指標 ($\Sigma(\Delta$ sulfate 濃度 \times 人口)) の関係を示した。

表中で示した陸上の環境改善効率指標 (B/A) や図中の線形性を比較した場合、結果は両地域とも SO_2 と同様となった。ここでの結果より、Sulfate のみで限定した場合でも、停泊船舶のみを ECA for S とした場合が最も効率的な ECA 設定となることが示唆される。しかしながら、効果の絶対値を示す陸上の環境改善指標 ($\Sigma(\Delta$ Sulfate 濃度 \times 人口)) でみれば、停泊船舶を ECA for S 設定とした場合の同値は、全船舶を対象としたものよりも東京湾で 36 %、大阪湾で 34%ほど減少する結果となる。

まとめれば、停泊中船舶のみに ECA 設定する場合は、東京湾及び大阪湾の全域に ECA 設定する場合よりも「陸上の環境改善効率指標」は大きくなるが、「陸上の環境改善指標」は小さくなる。

本事業では、3.1.3 (3) 節において、陸上の改善効率指標を重視し、東京湾全域に ECA を設定した方が米国の沿岸 200NMに ECA 設定する場合よりも同指標が大きいことをもって、ECA for S 設定の効果があると結論している。

このように、「陸上の環境改善効率指標」を重視するか、「陸上の環境改善指標」を重視するかは地理的スケールなどを考慮してケースバイケースで判断されると考える。

表 6.1-4 ECA for S 設定の地理的範囲と Sulfate 濃度の改善効果の関係⁽¹⁾

ECA for S 設定範囲	Δ sulfate 排出量 (ton/yr) 【A】	Σ (Δ Sulfate 濃度 \times 人口) 【B】	【B/A】
<u>関東計算領域</u>			
東京湾内の全船舶 ⁽²⁾	592	1,080,000	1,824
東京湾内の停泊船舶	350	686,000	1,960
東京湾内の航行船舶	243	182,000	749
東京湾内の主要航路帯以外 ⁽³⁾	420	816,000	1,943
<u>近畿計算領域</u>			
大阪湾内の全船舶 ⁽²⁾	367	534,000	1,455
大阪湾内の停泊船舶	170	351,000	2,065
大阪湾内の航行船舶	198	169,000	854

- (1) 本表は、関東及び近畿計算領域で共通して実施した A0 シナリオ及び A3+シナリオにおける排出量及び大気中濃度から作成した。
- (2) 全船舶を対象とした排出削減量（東京湾：592 ton/yr、大阪湾：367 ton/yr）のうち、漁船の割合は東京湾：0.17% (1.0 ton/yr)、大阪湾：0.70% (4.2 ton/yr) 程度であった。これは、漁船が少ないこと、また低硫黄燃料を使用していることで ECA for S による燃料規制効果が小さいことに起因する。
- (3) 東京湾内の航行船舶による面積排出強度が上位 15%となる海域以外を ECA for S とした（図 6.1-1参照）。停泊船舶は ECA for S 設定の対象となる。

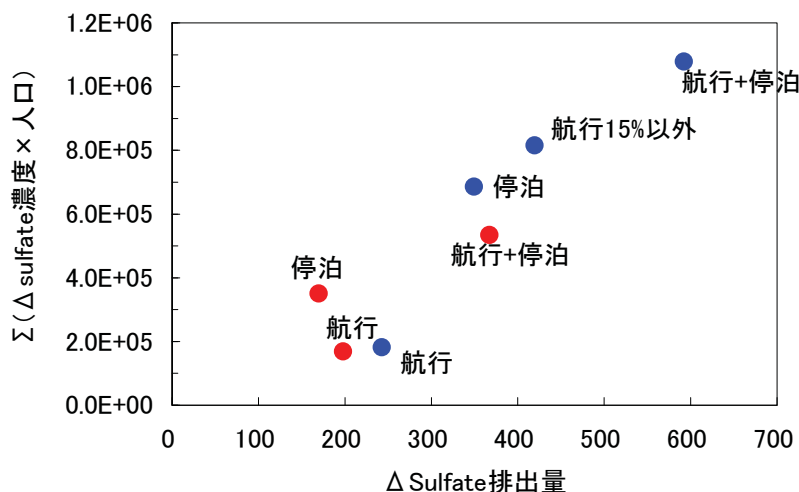


図 6.1-6 Sulfate 排出削減量 (Δ sulfate 排出量) によって期待できる陸上の環境改善指標 (Σ (Δ sulfate 濃度 \times 人口)) の関係

6.2 ECA 設定のタイミングと大気環境改善効果の関係

6.2.1 グローバル規制及び ECA for S の導入時期と大気環境改善効果の関係

本事業では、表 1.2-1 に示す通り様々な将来シナリオを検討した。このうち、Global Switch の導入のみを考慮したシナリオ (シナリオ 2) では、燃料中の硫黄分が一般海域において 0.5% まで改善されることに伴い、ECA 設定シナリオ (A3) と同程度の大气濃度削減効果が SO₂ 及び PM_{2.5} について得られることを、昨年度に実施した大気質シミュレーションより確認した (海洋政策研究財団, 2012)。

ただし、Global Switch の導入は条約上 2020 年あるいは 2025 年であり、日本における ECA for S の導入があったとしても最短で 2020 年近くにずれ込むと予想される。そのため、Global Switch 導入と ECA for S 導入では、同程度の大气濃度改善効果であっても、その実現には最大で 5 年間 (2020~2024) の時間差が生じる可能性がある。そこで、ここではその 5 年間の差が要因となって生じる人体健康影響を考察する。

1.3.5 節に記載した方法に従って、ベースライン PM_{2.5} 濃度分布及び ECA for S 設定時の PM_{2.5} 濃度分布はこの 5 年間に於いて変わらないものとして、人口分布がこの 5 年間に変わる影響のみを考慮する。日本の市区町村別将来推計人口 (平成 20 年 12 月推計) には、平成 17 年 (2005 年) 国勢調査結果を基準として 2020 年及び 2025 年の市区町村別将来推計人口が記載されている。これを使って、2020 年から 2025 年における A3 シナリオ (ECA 設定シナリオ) と A0 シナリオとの PM_{2.5} に起因する死亡者数の差分を Pope et al. (2002) の C-R Function を適用して求めると表 6.2-1 のようになる。その中間年については線型補間して各年度における死亡者数の差分を求め 5 年分 (2020~2024 年) の平均値は、表 6.2-2 から計算すれば約 296 人となる。

この C-R Function では 30 歳以上の死亡者のベースラインから濃度差に起因する一定の割合で死亡者が減少または増加するというモデルが取られている (30 歳未満の若年層については PM_{2.5} 濃度による影響は統計上検出されていない)。従って、実際の計算においてはグリッド別に、年齢層毎のベースライン死亡率に対する死亡者の減少数を積算している。このため、30 歳以上の死亡者の構成を見ると、当然ながら高齢者の占める割合が大きくなっている。

この死亡者数の差分は、計算領域内の対象人口 (Pope et al. (2002) の C-R Function は 30 歳以上を対象としたものなので、30 歳以上の総人口) の 10⁻⁵ に相当し、他の発がん性リスク解析などで受容可能とされる死亡リスクの目安とされている 10⁻⁶ よりも 1 オーダー大きい。

ただし、この評価は単年度の死亡者の差分の評価結果を単純に積算しただけのものであり、各年齢層の構成の時系列の変化をフォローするコホート解析にはなっていない。また、陸上の環境改善指標 ($\Sigma(\Delta PM_{2.5} \text{濃度} \times \text{人口}) / \Delta PM \text{排出量}$) そのものも当該 5 年間で変化することも考慮していない。したがってこの数値は参考に留めるのが適切であると考えられる。

仮に IMO において、Global Switch の適用が 2025 年に延長されるという決定がなされた際には、以上の点も考慮しながら 2025 年より以前の ECA for S の導入について再度検討する必要があるだろう。

表 6.2-1 2020 年、2025 年における関東域における A3 シナリオの PM_{2.5} に起因する人体健康影響評価

大気汚染物質	エンドポイント	C-R Function (論文)	年齢 ⁽¹⁾ (歳)	濃度データの処理	健康影響係数: β	調査対象 (地域、季節)	計算ケース	計算領域内の対象人口(人)	ベースライン死亡率、疾病率	死亡者、疾病者の減少数(人/y)	ベースラインに対する割合
PM _{2.5}	死亡	Pope et al., 2002	30-99	年平均値	0.005827	51 Cities.	2020 年	32,700,000	0.01584	281	0.054%
	死亡						2025 年	32,600,000	0.01800	317	0.054%

(1) 5 歳毎に区分された年齢層データを意味しており、人体健康影響はその年齢層区分毎に計算される。

表 6.2.2 各年における関東域における A3 シナリオの PM_{2.5} に起因する人体健康影響評価

年度	A3 シナリオによる死亡者減少数 (30 歳以上)
2020 年	281
2021 年	288
2022 年	296
2023 年	303
2024 年	310
(2025 年)	(317)
2020 年～2024 年の合計	1,478

6.2.2 ECA for Nの導入時期と大気環境改善効果の関係

NO_x 及び O₃ は大気中の複雑な光化学反応の影響を受けるため、多くの場合、濃度と前駆物質の排出量との関係は線形ではない。そのため、排出量の削減と濃度に対する改善効果の関係は慎重に議論する必要がある。本事業では、O₃の生成メカニズムは非常に複雑であり、ECA for Nを設定することが効果的であると主張するだけの科学的な根拠は現状において十分ではないと考えた。

図 6.2-1に、NO_x 及び NMVOCs 濃度に対する O₃ 等値線図を示す (Kannari et al., 2010)。縦軸が NO_x 濃度、横軸が NMVOCs 濃度 (NMHC) となっており、等値線が NO_x と NMVOCs の濃度に対応する O₃ の濃度の変化を示している。尾根を結ぶ直線よりも上部は NMVOCs 律速領域 (NMVOCs-limited) であり、NO_x 濃度が低下すれば O₃ 濃度が増加する可能性を示している。逆に同直線よりも下部は NO_x 律速領域 (NO_x-limited) であり、NO_x 濃度が低下すれば O₃ 濃度も低下するが、NMVOCs 濃度が低下しても O₃ 濃度に変化はない可能性を示している。わが国では NO_x が減少しているにもかかわらず、O₃ が増加傾向にあることが一般的に知られている (大原, 2007)。つまり、日本国内の NO_x と NMVOCs の関係が都市域においては NMVOCs-limited の領域にある可能性が示唆される。

なお、NO による O₃ の消失分を補正した保存量であるポテンシャルオゾン PO ($[PO]=[O_3]+[NO_2]-0.1*[NO_x]$) についても、図 6.2-1のような O₃ と同様の生成レジームを示す (神成ら, 2009)。

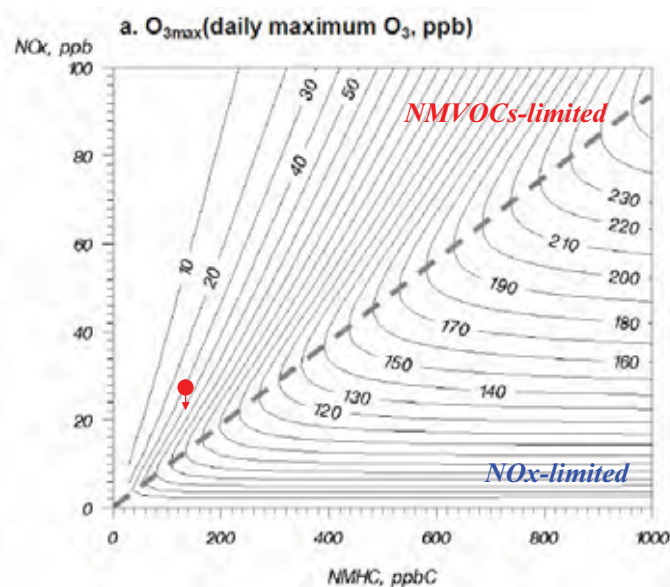


図 6.2-1 NO_x 及び NMVOCs 濃度 (NMHC) に対する O₃ の等濃度曲線 (Kannari et al., 2010)

Kannari, A., and Ohara, T.: Theoretical implication of reversals of the ozone weekend effect systematically observed in Japan, Atmos. Chem. Phys., 10, 6765-6776, 2010.

神成陽容、大原眞編：オゾン週末効果反転現象のメカニズム、大気環境学会誌 Vol.44 No.2、pp82-90、2009。

大原利眞：日本における光化学オキシダント等の挙動解明に関する研究、国立環境研究所研究報告第 195 号 (R-195-2007)、2007。

図中の赤丸は、2.1.2 節で紹介した関東地方における A0 シナリオの NO₂ 及び O₃ 濃度の位置であり、赤い矢印は A3 シナリオによって NO₂ と O₃ の関係がどこまで動いたのかを示したものである。A3 シナリオにおける NO₂ 濃度の削減幅は 1.10 ppb であった（図 2.1-3 参照）。図 6.2-1 より、A3 シナリオでは NO₂ 濃度の低減は十分ではなく、O₃ との関係は引き続き NMVOCs-limited の領域で決定されていることが確認できた。

本報告書 2.1.3 節 (3) では、(i) 東京湾を対象とした ECA for N と (ii) 自動車を対象とした NO_x 排出削減効果（ECA for N で期待できる NO_x 削減量を関東計算領域内の自動車発生源メッシュに一律に割り振ったもの）の 2 つのシナリオにおける O₃ 濃度の改善効果を比較し、自動車を対象としたシナリオでは関東計算領域の全範囲において O₃ 濃度が増加する結果が示された。図 6.2-1 に示される通り、NMVOCs-limited の状況下にある関東地方では、このような NO_x 排出量の削減による O₃ 濃度の増加は当然の結果であり、多くの先行研究においても同様な結果が得られている（e.g. 中西ら, 2004）。つまり、我が国において O₃ 濃度の改善を図る上では、NO_x 排出削減と並行して NMVOCs 排出削減対策も同時に進めていかなければならないことを指し示している。

本事業では、陸上発生源データの 2020 年を対象とした将来推計を行っていないため、ECA for N 設定シナリオ（表 1.2-1 及び 1.2-4 参照）における大気質シミュレーションの陸上発生源データは 2005 年と同じ値とした。将来、陸上発生源において見込まれる NO_x および NMVOCs 排出量の削減と併せて ECA for N を設定した場合には、O₃ 濃度の大きな改善にも繋がる可能性が示唆される。また、2020 年あるいは 2025 年において Global Switch によって燃料中硫黄分が 0.5% 以下に規制されることに伴って、Fuel NO_x は 6 % の減少が見込まれるため、Global Switch 導入と ECA for N 設定の関係も十分に考慮しなければならない。

中西準子、篠崎裕哉、井上和也：詳細リスク評価書シリーズ 24 「オゾン」、丸善株式会社出版、2004

国立環境研究所：環境儀 NO.33 「越境大気汚染の日本への影響 光化学オキシダント増加の謎」、
<http://www.nies.go.jp/kanko/kankyogi/33/33.pdf>

ここまでの議論より、2020年ではECA for N設定はO₃濃度の増加を導く可能性が指摘された。しかしながら、2020年以降で適切な計算対象年と、それに対応した陸上、特にNMVOCs排出源の削減シナリオを設定できた場合には、更に明らかなO₃に係る環境改善効果が計算されることも同時に期待できることになる。

これに加えて考慮すべきは、近年の顕在化が指摘されている越境大気汚染である。国立環境研究所(2009)は、我が国では大気中におけるNO_x及びNMVOCs(NMHC)濃度は発生源規制等により経年的に減少しているにも拘らず、光化学オキシダント(O_x)の濃度は年々増加の傾向を示しており、その要因にはPM_{2.5}だけでなくグラウンドレベルO₃についても越境大気汚染の顕在化が考えられることを報告している(図6.2-2参照)。

今後、ECA for N設定の時期やそれに係るO₃濃度への改善効果の関係を評価する際には、様々な項目を包括的に考慮してシナリオ設定を行うことが求められる。

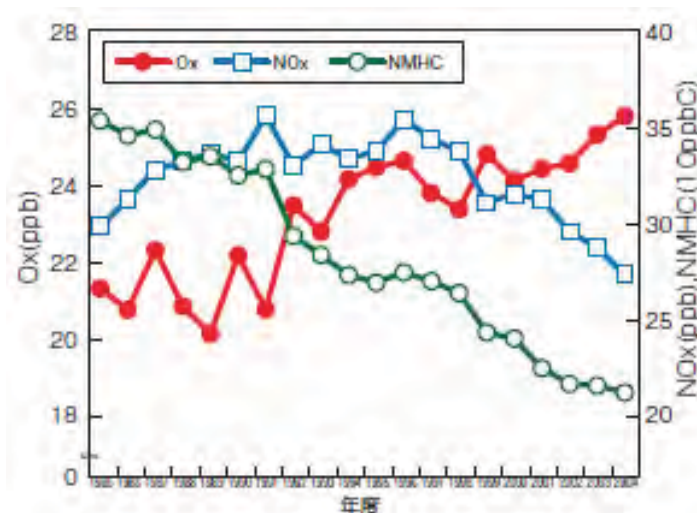


図 6.2-2 全国の大気汚染測定局における各年平均濃度の経年変化 (1985~2004)

(国立環境研究所 (2009) より抜粋引用)

7 2010 年を対象とした船舶排出量データの作成

平成 22 年度及び平成 23 年度事業において構築・使用した船舶排出量データは、2005 年を対象年としたものであったが、今後、将来における検討やシミュレーション計算に使用することを目的として、2010 年を対象とした新たな船舶発生量データを構築した。2010 年を推計の対象年とするにあたり、最新のデータが入手困難なものについては、既存のデータを年次補正するものとした。

2010 年における 50NM 以内の商船航行時の活動量・排出量データについては、平成 22 年度事業で入手した 2009 年 7 月 1 ヶ月分の AIS（船舶自動識別装置）データから作成したメッシュ別、船種・船型別隻数に、港湾統計等による内外航別・船型別補正係数を乗じて 2010 年の排出量データを作成した。過年度に作成した 2005 年の排出量データも同じ方法によって作成しており、航行速力については AIS に記録されているデータをそのまま利用している。したがって、2005 年の排出量データも 2010 年の排出量データも同じ 2009 年時点の航行速力に基づいたものとなっており、海運不況に伴う減速航行による船腹量調整の活動量（燃料消費量）への影響は考慮されていないこととなる。

また、これまでに整備された商船航行時の活動量データは、AIS データに含まれる船の長さから総トン数を推計し、推計した総トン数からさらに機関出力を推計して算出したものであるが、ここでは、AIS データに基づく内外航別・船種別・船型別の機関出力/航海速力を考慮して補正した。距岸 50NM 以遠 EEZ 内の外航商船航行時の活動量・排出源データについては、平成 23 年度で整備したデータに、港湾統計等による年次補正を行って 2010 年のデータを作成した。

2010 年における商船停泊時の活動量・排出量データについては、2010 年の港湾統計(年報)より、港湾別・外内航別・船型別入港船舶の 2010 年/2005 年隻数比を補正係数とし、メッシュ別・外内航別・船型別に作成した 2005 年のデータに乗じてデータを作成した。特定重要港湾（全国 23 港）については、各港湾管理者の港湾統計年報より、貨物船やタンカー、コンテナ船、旅客船等の 11 種の詳細な船種に区分し、特定重要港湾以外の甲種・乙種港湾は、内航商船、内航フェリー、外航商船の 3 種類に区分した。

2010 年における漁船の活動量・排出量データについては、平成 22 年度事業と同様に、漁業センサスから都道府県別・トン数区分別の漁業従事日数を推計し、2010 年エネルギーバランス表の水産業における軽油、A 重油量の消費量に補正した。

非燃烧起源 NMVOCs については、原油タンカー、ガソリンを輸送するプロダクトタンカー及びケミカルタンカーの 3 種を対象に、これらの船舶のカーゴオペレーションから発生する NMVOCs について、対象年を 2010 年として算出した。算出方法は、対象年次の港湾統計(年報)から NMVOCs が含まれる品目の「原油」、「石油製品」及び「化学薬品」について、各港湾（甲種港湾を対象）の輸出及び移出量を調査することにより、NMVOCs 排出総量を算出した。地理的配分については、平成 22 年度事業で作成した商船係留時のメッシュデータを使用し、時間プロファイルの設定については、平成 23 年度事業で作成した 2005 年のデータを使用した。

以上の算定結果は、国土地理院 3 次メッシュ毎・時間別・曜日別・内航外航別・船種船型別に整理されており、本事業の成果として OPRF から公開される。

7.1 排出源データの算出方法

7.1.1 商船

(1) 商船航行時

① 50NM 以内の活動量

50NM 以内の商船航行時の活動量 (3 次メッシュ別・船種別・船型別・時間帯別の“航行隻数”、“航行速力”、“滞在時間”) については、平成 22 年度の事業において、日本沿岸域に整備された AIS (船舶自動識別装置) 陸上局で 2009 年に取得された船舶航行データ (海上保安庁提供) より、2005 年への年度補正および AIS を搭載していない 500 総トン未満の一部の船舶の活動量を補完して作成した (図 7.1-1 参照)。

今年度においては、2009 年と 2010 年の港湾統計(年報)の入港隻数が既に公表されていることから、補正係数 (2010 年/2009 年隻数比) については、2009 年と 2010 年の船種別・船型別の入港隻数比率 (表 7.1-1 参照) より求めるものとした。表 7.1-1 に示すように、2005 年に対しては、2010 年の入港隻数は一部の船種・船型を除き、微減傾向にある。本年度の計算においては、2005 年のデータを用いず、AIS 受信データの取得年である 2009 年と対象年である 2010 年間の船型・船種別入港隻数を用いて補正を行う。

なお、平成 23 年度で実施した排出源データの再整備により、外航商船について津軽海峡など国際海峡を通峡するのみの日本非寄港外航船と日本寄港船に分類している。これによると、津軽海峡付近においては、10,000 総トン以上の外航商船の 75% は国際海峡を通峡するのみの日本非寄港船であることが平成 23 年度事業において判明している。

日本に寄港する外航商船の 2010 年/2009 年の隻数比は表 7.1-1 に示すとおり 1.08 であり、韓国港湾に出入りした外国航路の 2010 年/2009 年の隻数比は、表 7.1-2 に示すとおり、韓国-北米航路と韓国-欧州航路のそれぞれで 1.10 と 1.09 である。

そこで、外航商船のうち、日本寄港船については、表 7.1-1 の係数で隻数補正するものとし、韓国～津軽海峡ルート等、日本非寄港船が主に航行するルート上のメッシュに対しては、1.10 で隻数補正を行うものとした。

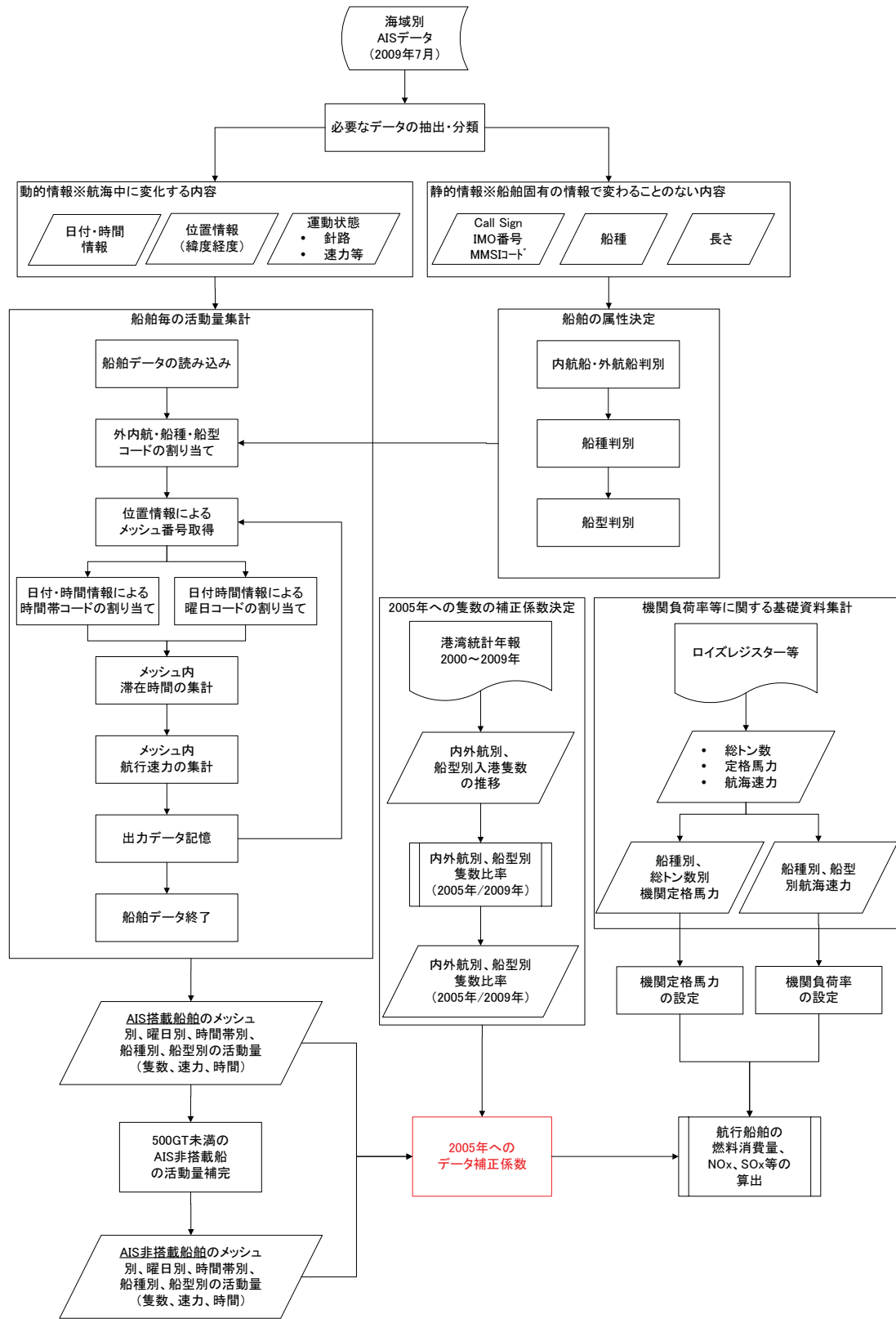


図 7.1-1 AIS を活用した航行船舶活動量算出手順 (平成 22 年度事業)

表 7.1-1 港湾統計(年報)2009年・2010年の入港隻数による2010年/2009年の隻数比率

船種	船型区分	2005年 入港隻数	2009年 入港隻数	2010年 入港隻数	2010年/ 2009年 入港隻数比
内航商船	5～500GT	1,796,236	1,489,307	1,517,203	1.0187
	500～1,000GT	126,075	109,300	109,165	0.9988
	1,000～3,000GT	70,968	55,034	53,285	0.9682
	3,000～6,000GT	45,627	37,752	41,466	1.0984
	6,000～10,000GT	9,737	9,758	9,722	0.9963
	10,000GT～	7,206	10,426	11,048	1.0597
外航商船	5～500GT	11,826	6,815	6,220	0.9127
	500～1,000GT	6,215	3,575	3,300	0.9231
	1,000～3,000GT	23,023	19,653	20,819	1.0593
	3,000～6,000GT	24,846	18,707	18,864	1.0084
	6,000～10,000GT	22,857	21,473	23,569	1.0976
	10,000GT～	41,138	36,167	39,143	1.0823
内航自航	5～500GT	128,450	110,508	111,101	1.0054
	500～1,000GT	839,035	708,284	689,357	0.9733
	1,000～3,000GT	105,366	82,438	67,676	0.8209
	3,000～6,000GT	14,995	17,070	17,126	1.0033
	6,000～10,000GT	21,963	12,936	12,436	0.9613
	10,000GT～	17,830	11,219	10,424	0.9291

表 7.1-2 韓国港湾の入出港隻数

		2010年	2009年	2010年/2009年
欧州方面	入港	1,123	702	1.60
	出港	1,083	1,300	0.83
	計	2,206	2,002	1.10
北米方面	入港	1,882	1,631	1.15
	出港	2,036	1,962	1.04
	計	3,918	3,593	1.09

出典：韓国海運港湾物流情報センター (SP-IDC) ウェブサイトより

② 活動量データの詳細化

平成 22 年度事業において作成した商船航行時の活動量データは、AIS データに含まれる船の長さから総トン数を推計し、別途、船舶明細から作成した船種毎の長さから総トン数及び主機定格出力との推計式を用いて、総トン数、機関出力を推計したものである。AIS 受信データには、船名、識別符号、IMO 番号、MMSI コード等、船舶を認識するためのフラグが含まれているが、直接用いていない。

平成 23 年度事業においては、商船航行時の活動量データの精度を向上させるため、平成 22 年度事業の算出方法を見直し、総トン数、機関定格出力及び航海速力等の情報については、AIS データに含まれる船名、識別符号、IMO 番号、MMSI コード等から可能な限り船舶固有の情報を求めて活動量を算出する方法について検討した。

図 7.1-2～図 7.1-7は、従来の算出方法 (平成 22 年度事業) と見直した算出方法 (平成 23 年度事業) による、活動量のベースとなる定格出力/航海速力を外内航別・船種別・船型別に比較したものである。

これまでに作成した商船航行時の 2005 年の排出源データについては、平成 22 年度事業で検討した方法によるものであることから、図 7.1-2～図 7.1-7に示す AIS データに基づく内外航別・船種別・船型別の機関出力/航海速力を考慮して補正した。

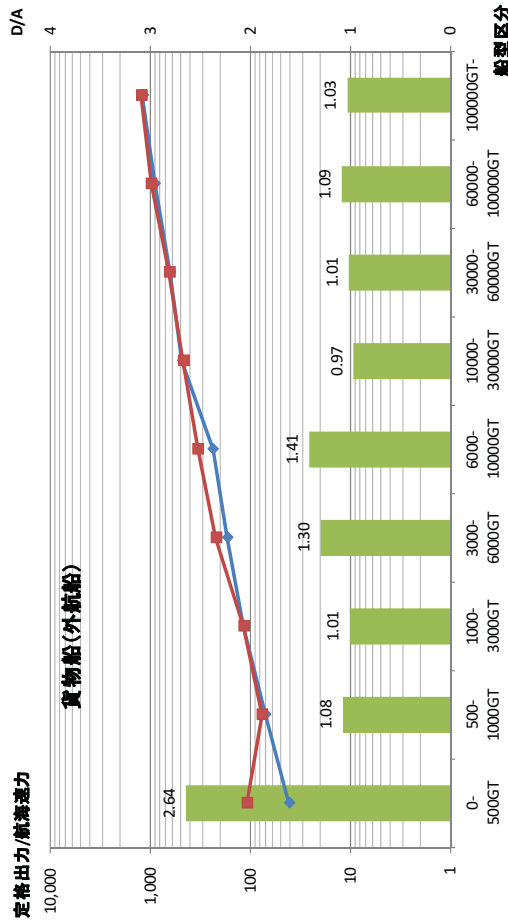
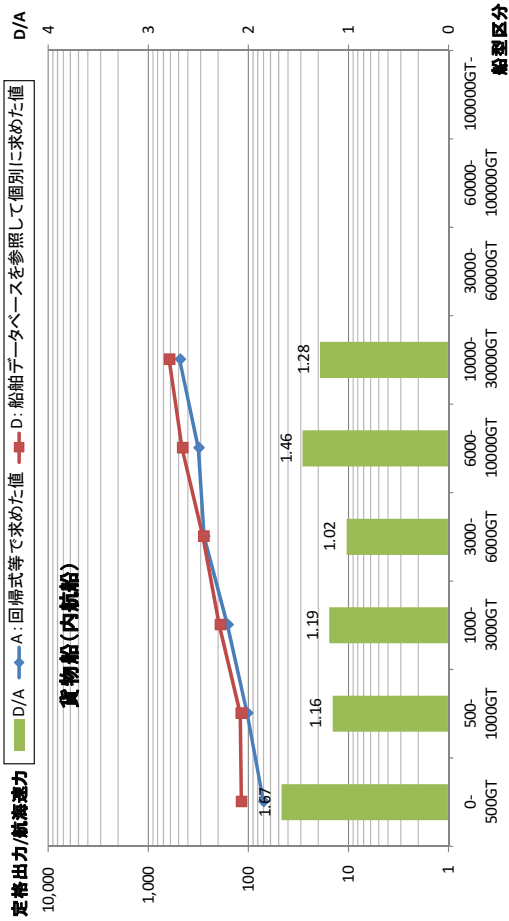


図 7.1-2 各船型区分における定格出力/航海速度の比較
(船種：貨物船)

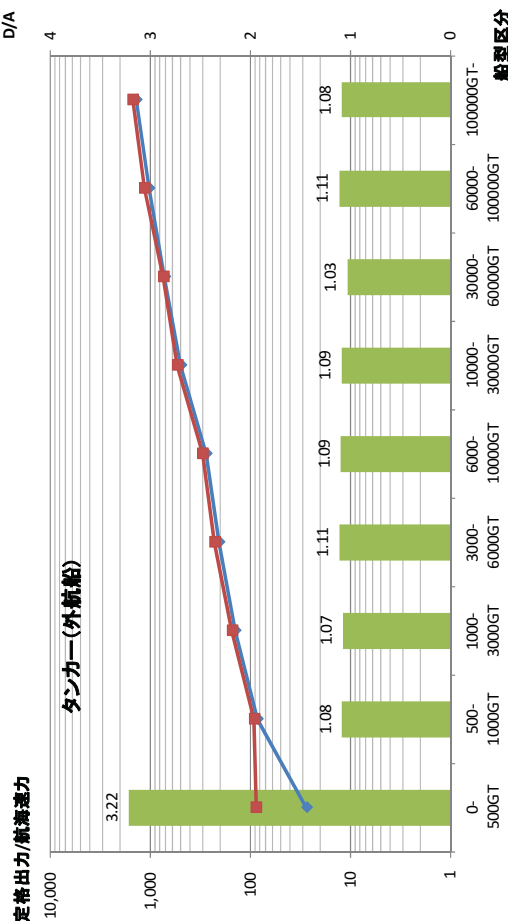


図 7.1-3 各船型区分における定格出力/航海速度の比較
(船種：タンカー)

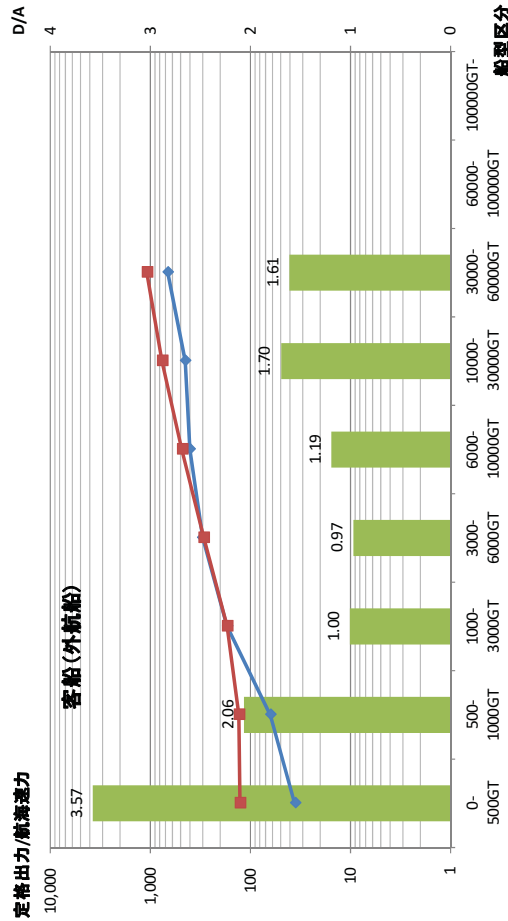
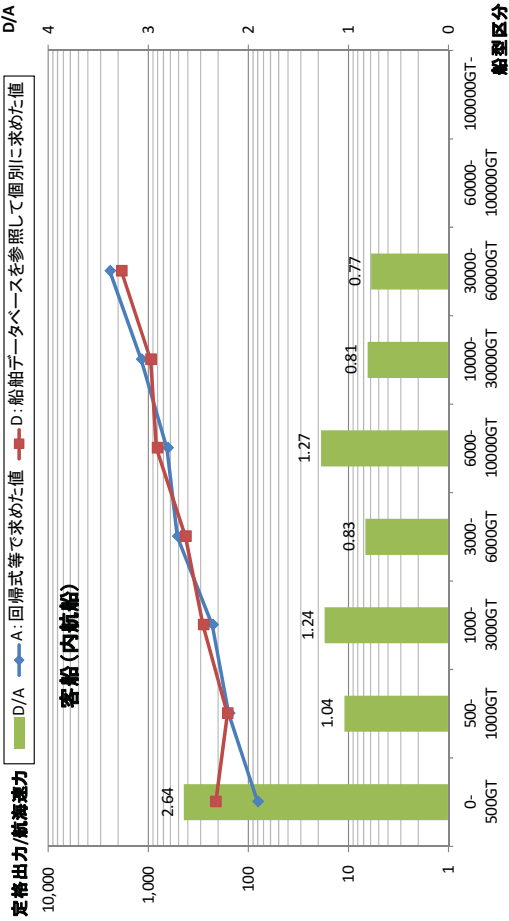


図 7.1-4 各船型区分における定格出力/航海速度の比較
(船種：客船)

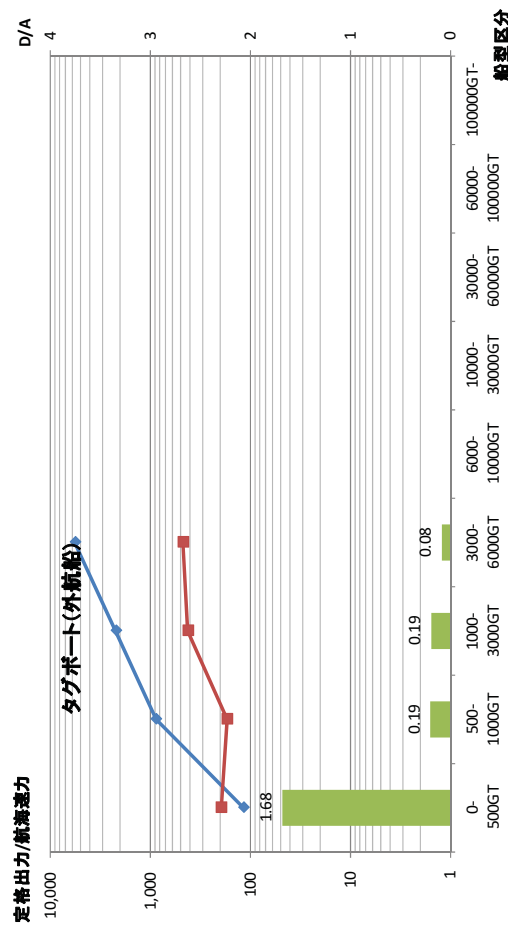
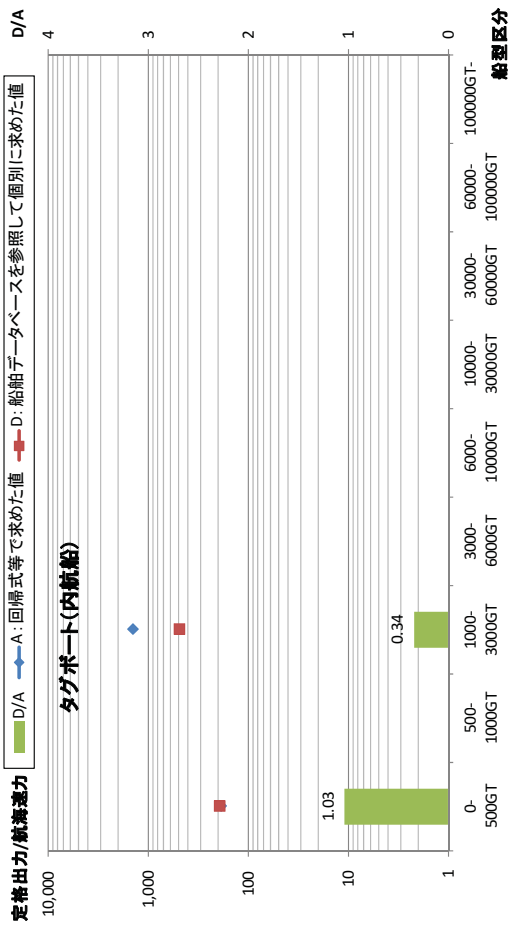


図 7.1-5 各船型区分における定格出力/航海速度の比較
(船種：タグボート)

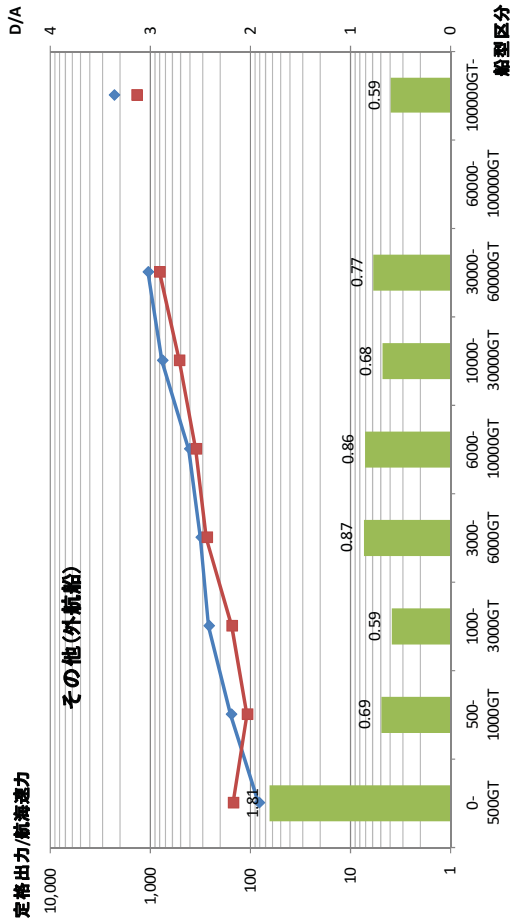
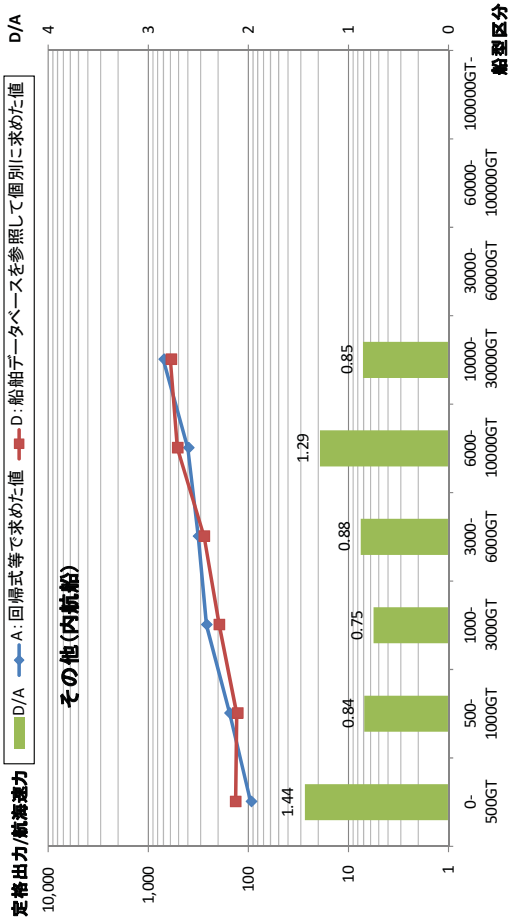


図 7.1-6 各船型区分における定格出力／航海速力の比較
(船種：その他)

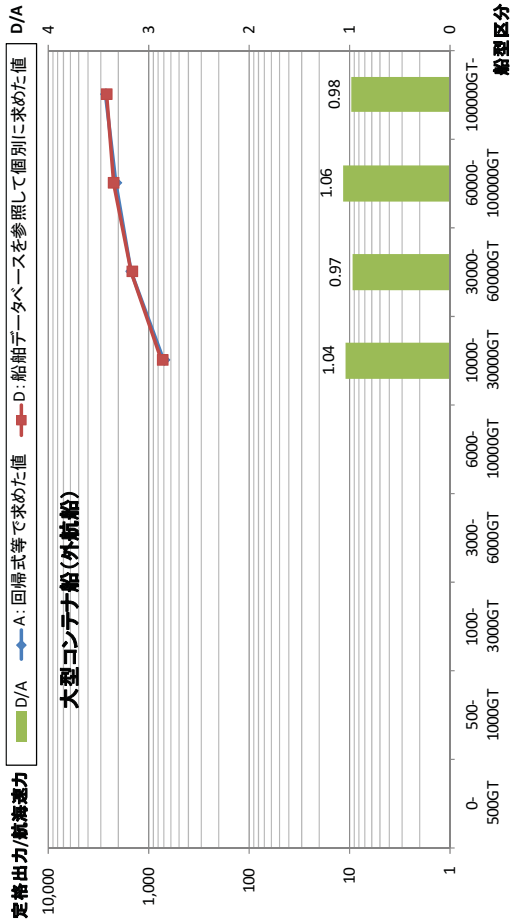


図 7.1-7 各船型区分における定格出力／航海速力の比較
(船種：大型コンテナ船)

③ AIS を搭載していない 500 総トン未満の一部船舶の活動量補完

AIS を搭載していない 500 総トン未満の一部の船舶の活動量を補完するための補正係数 α 及び β (図 7.1-8 参照) については、平成 22 年度の検討で用いたものを使用した (表 7.1-3、表 7.1-4 参照)。

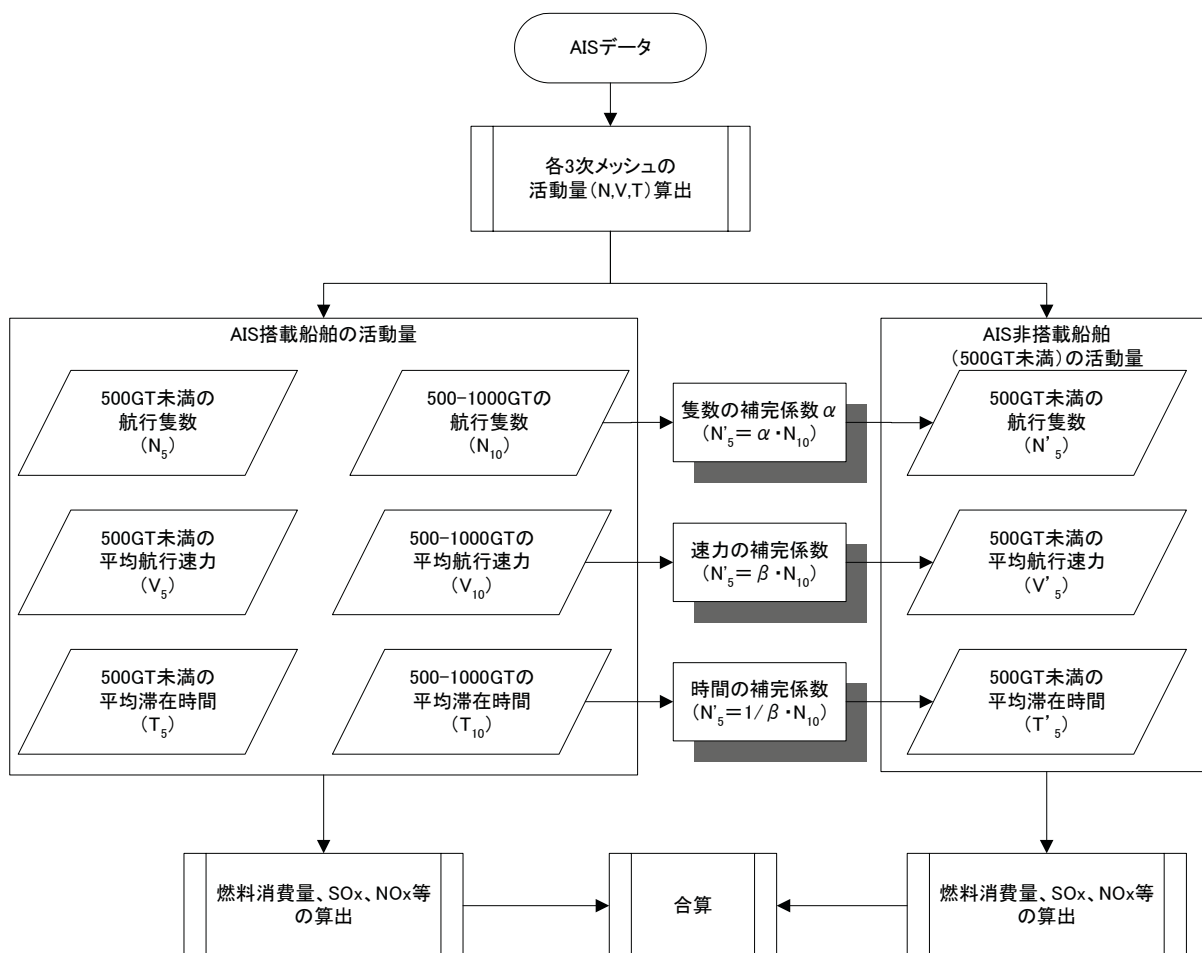


図 7.1-8 500 総トン未満の AIS 非搭載船舶の活動量補完方法 (平成 22 年度事業)

表 7.1-3 各海域における補完係数 α

	X_B/Y_B	X_A/Y_A	補完係数 α
東京湾	5.1276	1.0397	4.0879
伊勢湾	8.7767	0.6499	8.1268
大阪湾	10.5969	0.4603	10.1366
備讃瀬戸	1.5396	0.5299	1.0097
来島海峡	8.1069	0.4979	7.6090
関門海峡	4.4688	1.3726	3.0962
北海道	2.5180	0.4403	2.0777
日本海・東北	8.9095	1.6579	7.2516
南九州・沖縄	3.6837	0.5492	3.1345

表 7.1-4 航海速力の比較 (補完係数 β)

船型区分	平均航海速力	サンプル数
20～500GT	11.90	4,161
500～1,000GT	12.85	650
比率 (補完係数 β)	0.9257	—

※ 『日本船舶・内航船舶明細書 2009 年』より作成

④ 距岸 50NM 以遠 EEZ 内 (外航商船)

AIS 陸上局において記録された船舶の動的データを基に作成した商船航行時の活動量の把握は AIS 電波の受信範囲内に限られるが、排出源データを作成後に検討を加えた結果、高い受信精度が期待できるのは離岸距離 50 海里以内であることが判明した。

内航商船は、航行区域が平水区域 (湖、川及び港内等の水域)、沿岸区域 (概ね日本、樺太の一部、朝鮮半島の海岸から 20 海里以内の水域) 及び限定沿海区域 (近海区域を航行区域とする船舶のうち、本邦の周辺の水域のみ) を航行する船舶がほとんどであり、中には、航行区域が近海区域 (東経 175 度以西、南緯 11 度以北、東経 94 度以西、北緯 63 度以南の海域) のものも含まれるが、日本周辺においては、いずれも上記 AIS 受信範囲を超えて航行する内航船はほとんど存在しないと考えられることから、内航船の活動量については AIS 受信の範囲とした。

一方、外航商船は、外国から日本に向かうとき、あるいは日本から外国に向かうときに距岸 50 海里以遠を航行することから、距岸 50NM 以遠 EEZ 内の外航商船航行時の活動量については、別途推計する必要がある。

距岸 50NM 以遠 EEZ 内の外航商船航行時の活動量については、平成 23 年事業において、平成 22 年度事業で作成した 2005 年ベースの商船航行時活動量データを距岸 200 海里の EEZ ラインまで延長してモデル化 (図 7.1-9 参照) し、表 7.1-5 に示すとおり算出した。

今年度においては、平成 23 年度において算出した距岸 50NM 以遠 EEZ 内の外航商船航行時の活動量を、韓国からのルートについては前述の韓国-北米航路の 2010 年/2005 年隻数比 1.10 を用い、その他のルートについては、港湾統計(年報)の 2010 年/2005 年隻数比 (表 7.1-1 参照) を年次補正係数として 2010 年の活動量データを作成した。

なお、2005 年のデータについては、別途、海上技術安全研究所が算出した値に補正するため、燃料消費量に補正係数 2.76 を乗じている。

表 7.1-5 距岸 50NM 以遠 EEZ 内における外航商船航行時の活動量等 (2005 年)

(単位 : ton/year)			
燃料消費量	NO _x	SO ₂	PM
2,810,546	102,738	149,347	9,494

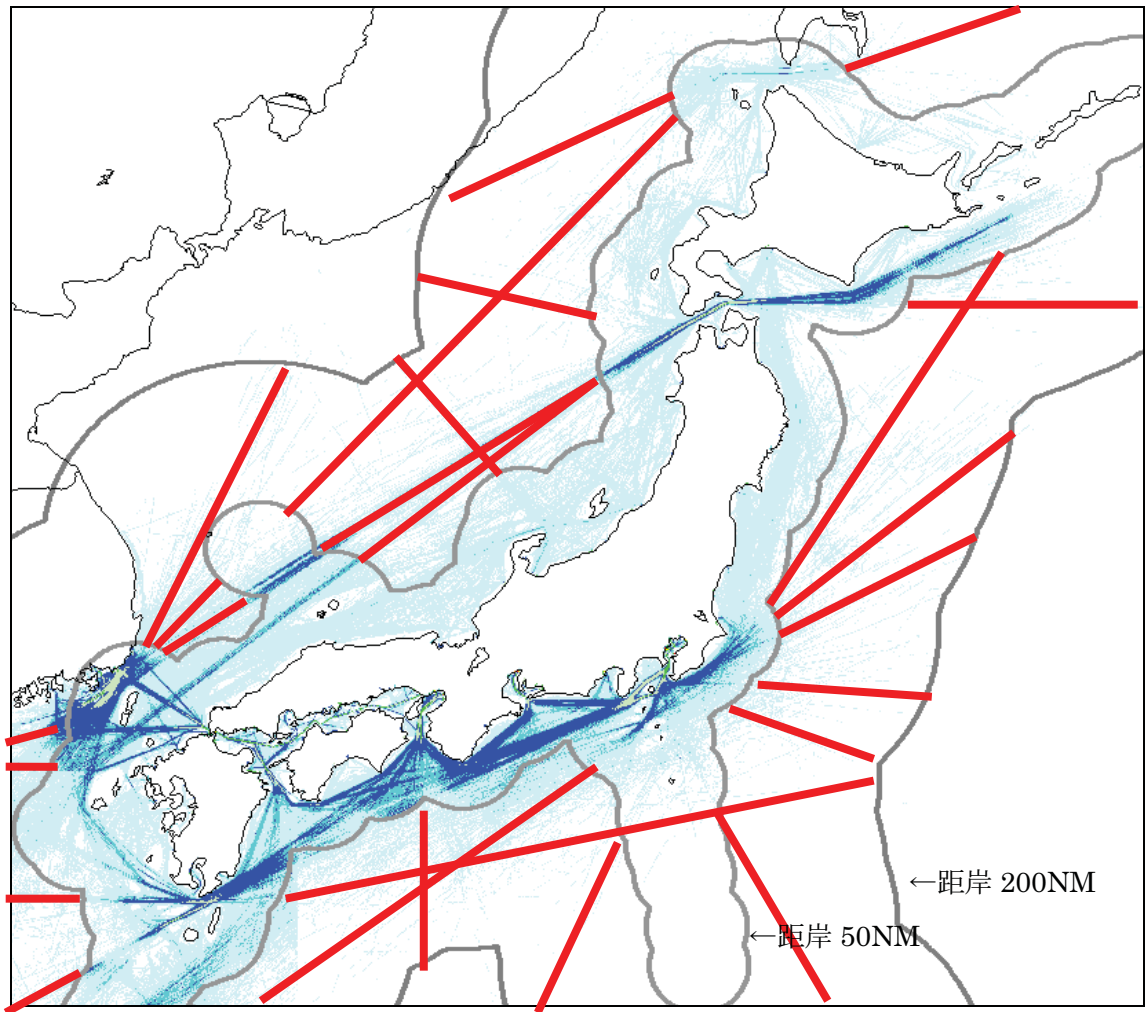


図 7.1-9 50 以遠 EEZ 内の外航船航行ルート・モデル

(2) 商船停泊時

商船停泊時の活動量については、平成 22 年度事業において、港湾統計(年報)2005 年より、甲種・乙種港湾を対象に各港湾の入港隻数を停泊隻数として港湾別、船種別、船型別の停泊隻数を集計し、これを各港湾で 3 次メッシュに配分し、さらに過年度の調査成果(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、平成 20 年 6 月、海洋政策研究財団)を活用して船舶の時間帯別活動量を推計した(図 7.1-10参照)。

2010 年における商船停泊時の活動量については、港湾統計(年報)2010 年より、港湾別・外内航別・船型別入港船舶の 2010 年/2005 年隻数比を補正係数とし、メッシュ別・外内航別・船型別に作成した 2005 年活動量データに乗じて算出した。なお、港湾統計(年報)2010 年は、内航商船、外航商船及び内航自航の 3 区分しかないため、特定重要港湾(全国 23 港)については、各港湾管理者のウェブサイトより、詳細な船種区分で統計資料が整理されている港湾に関しては、各港湾管理者が公表している統計値を入手して使用した。

また、2005 年から 2010 年末までの間には、神戸港 PC18 東面-16m 大水深岸壁(2010 年 4 月供用開始)、名古屋港飛島ふ頭南側コンテナターミナル第 2 バース(2008 年供用開始新規のコンテナふ頭)等、供用が開始されたバースがあり、これらバースについては 3 次メッシュデータを新たに設定するものとした。

なお、平成 22 年度事業と同様、今年度についても 2010 年のエネルギーバランス表より、トップダウン補正を行った(トップダウン補正は内航商船航行時にも適用される)。

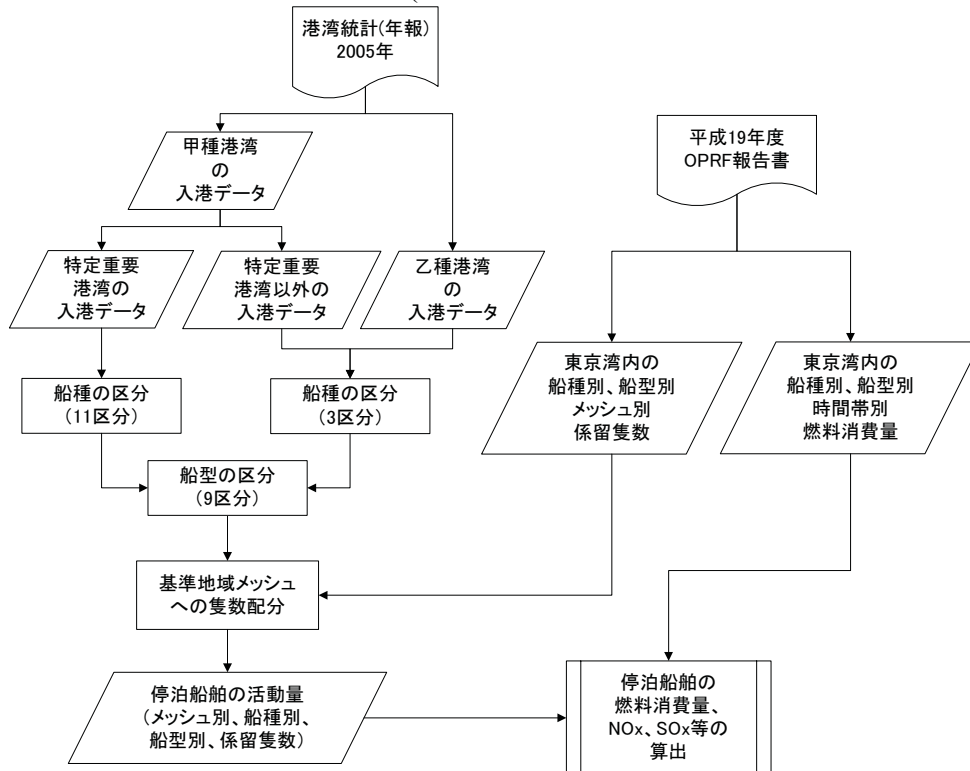


図 7.1-10 港湾統計(年報)等を活用した商船停泊時の活動量算出手順(平成 22 年度事業)

7.1.2 漁船の活動量

2005年における漁船の活動量(燃料消費量及び排出量)については、平成22年度事業において、図7.1-11に示す手順により、2003年(第11次)漁業センサス、1991~2001年のエネルギー生産・需給統計年報、2005年のエネルギーバランス表等を基に作成した。

2010年の漁船の活動量については、平成22年度事業と同様、2008年(第12次)漁業センサスより、都道府県別・船型別の漁業従事日数を求め、平成22年度事業で求めた2003年(第11次)漁業センサスによる都道府県別・船型別漁業従事日数との比率を算出して年度補正して求めるものとした。

なお、平成22年度事業と同様、今年度についても2010年のエネルギーバランス表より、トップダウン補正を行った。

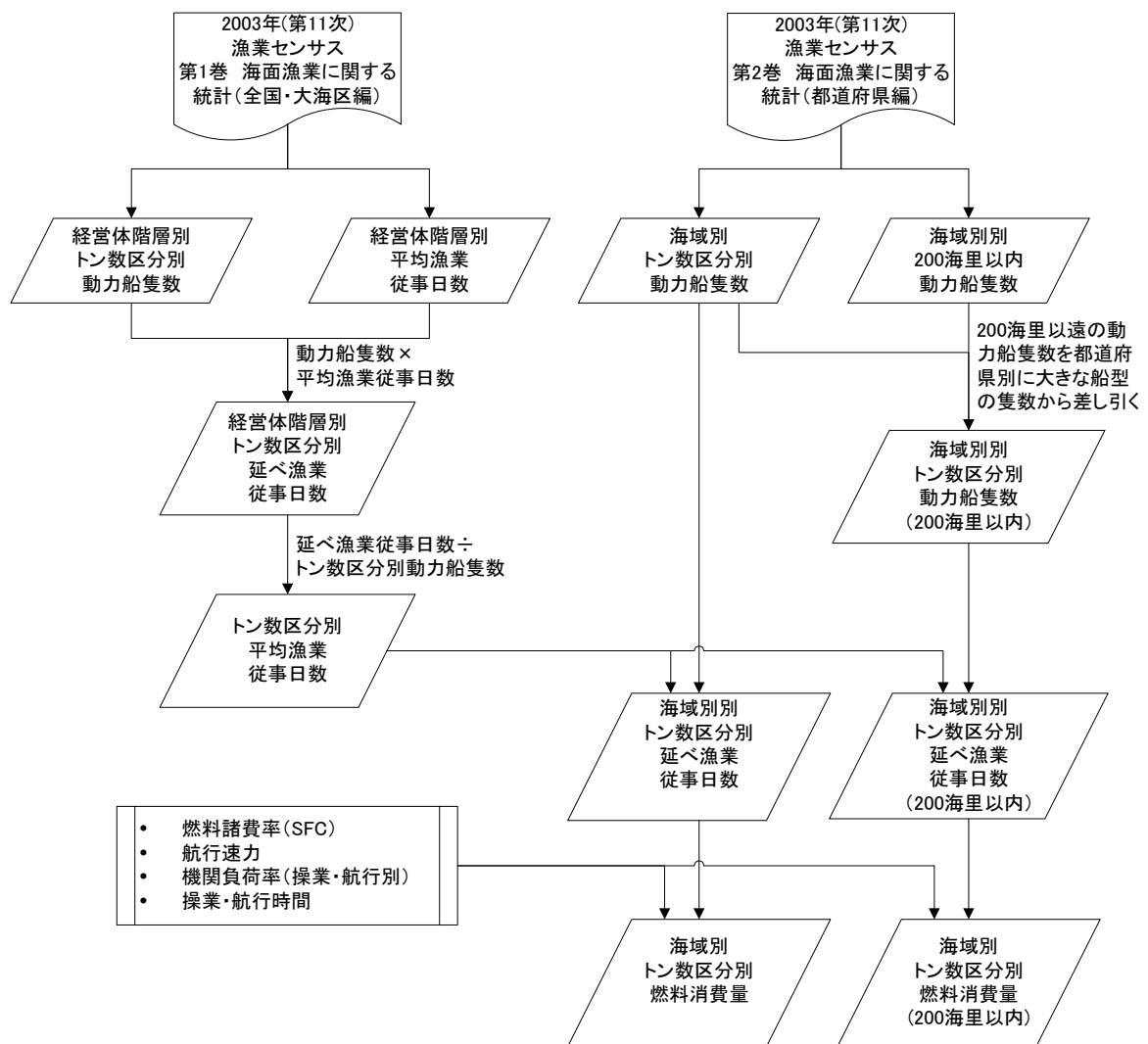


図 7.1-11 漁船統計資料による漁船の活動量及び燃料消費量の算出手順 (平成22年度事業)

7.2 排出係数の検討

大気汚染物質排出量は、式 7.2-1 のように活動量と排出係数の積として表される。

$$E_s = A \times F_s \quad \text{数式 7.2-1}$$

ここで、 E_s : 対象物質 s の時間当たりの排出量 kg/h
 A : 時間当たりの活動量 例えば $t-Fuel/h$
 F_s : 対象物質 s の排出係数 例えば $kg/t-Fuel$

各排出係数は次のとおり設定した。

7.2.1 NOx

定格出力 (kW) と機関回転数の関係式から回転数 (rpm) を求め、回転数と排出係数の関係から排出係数 (g/kWh) を設定した。ただし、漁船は中速機関と仮定し、一律 750kW とした。

算定に用いる回転数には、本事業においてこれまで使用してきた「既存船舶からの世界的な大気汚染物質排出量に関する調査研究」(平成 19 年 3 月、(財)日本船舶技術研究協会資料)による定格出力と回転数の関係式 7.2-2 を採用した。この関係式は Lloyd's のデータに登録されている船舶の主機ディーゼル機関の定格出力と定格回転数から作成されたものである。

$$\text{回転数}(rpm) = 101.275 \times (\text{定格出力}[kW/\text{船}])^{-0.7005} \times 10^3 \quad \text{数式 7.2-2}$$

定格回転数と排出係数の関係は、IMO の現行規制値 (Tier1) を基本とした。Tier1 規制による内燃機関の回転数と排出係数の関係を表 7.2-1 に示す。

2010 年における Tier1 比率については、内航船舶明細書による船齢構成から、内航商船については 6.0%、内航旅客船については 7.3% とし、外航船については平成 23 年度事業における 2020 年の推計値 (表 7.2-2 参照) より 47.0% とした。

また、補助ボイラの NOx 排出係数には、GHG 2nd Study (2009) で報告されている消費燃料あたりの排出係数の 7 g/kg-fuel を採用した。

表 7.2-1 NOx 排出係数算定に用いるデータ

項目	内容
回転数 (rpm)	$101.275 \times (\text{定格出力}[\text{kW}/\text{基}])^{-0.7005} \times 10^3$
Tier1 規制値	定格回転数130rpm未満 : 17g/kWh 定格回転数130rpm以上2000rpm未満 : $45 \times (\text{定格回転数})^{-0.2} \text{ g/kWh}$ 定格回転数2000rpm以上 : 9.8g/kWh

表 7.2-2 2020 年における外航船の船齢構成

船齢区分 (2020 年)		隻数比率
5 年未満	Tier3	20.8 %
5 年以上 10 年未満	Tier2	27.4 %
10 年以上 20 年以下	Tier1	47.0 %
21 年以上	Tier0	4.8 %

以上より、NOx 排出量の算出式は数式 数式 7.2-3 のようになる。

$$E_{NOx} = N \times P_{type} \times PR \times F_{NOx} \quad \text{数式 7.2-3}$$

- ここで E_{NOx} : NOx 排出量 (NO₂ 換算 : kg/h)
 N : グリッド内の存在隻数
 P_{type} : 主機・補機ディーゼル機関の定格出力 (kW)
 PR : 負荷率
 F_{NOx} : 定格回転数毎の NOx 排出係数 (kg/kWh)

7.2.2 SO₂

SO₂の排出量は、燃料消費量と燃料中に含まれる硫黄分 (%) の積に比例する。油種によって含有する硫黄分が異なることから、SO₂ 排出量の推計では船種毎の油種使用割合を考慮する必要がある。2010 年の排出量推計にあたっては、既存の報告値を基に表 7.2-3に示す含有硫黄分を適用した。

表 7.2-3 A 重油及び C 重油の密度及び含有硫黄分 (%)

油種	硫黄分濃度 (%)		
	C	A	軽油
外航船	2.61 ¹⁾	—	—
内航船	2.17 ²⁾	0.53 ²⁾	—
漁船	—	—	0.001 ³⁾

- 1) IMO-MEPC62/4 「Sulphur monitoring 2010」
- 2) 第 12 回内航海運における使用燃料油、潤滑油に関する実態調査報告書 (内航総連、2010)
- 3) 自動車の燃料に関する許容限度及び自動車の燃料に含まれる物質の量の許容限度

以上より、SO₂排出量は数式 7.2-4 より算出される。ただし、同式より算出される SO₂排出量は SO₂凝縮より生成される硫酸塩 (Sulfate) を含んだものであるため、後述する PM として排出される S 分を減ずる必要がある。

$$E_{SO_2} = W \times s \times M_{SO_2} / MS \quad \text{数式 7.2-4}$$

- ここで、 E_{SO_2} : SO₂としての排出量 (ton)
 (SO₂凝縮より生成される硫酸塩 (Sulfate) を含んだもの)
- W : 燃料消費量 (ton)
- s : 燃料中の硫黄分 (%)
- M : 分子量 (SO₂=64 ; S=32)

7.2.3 PM

PMの排出係数は数式 7.2-5 より、SO₂から差し引かれるべき Sulfate の排出係数 (g/kWh) は数式 7.2-6 より算出した。

また、補助ボイラの PM 排出係数には、過年度の検討結果に基づき、消費燃料あたりの排出係数の 2.5 g/kg-fuel を内航船及び外航船の双方に採用し、漁船についてはボイラによる PM の排出は考慮しなかった。

$$\text{PM (g/kWh)} = 0.585 \times \text{S 分 (\%)} + 0.281 \quad \text{数式 7.2-5}$$

$$\text{Sulfate (g/kWh)} = 0.267 \times \text{S 分 (\%)} - 0.00885 \quad \text{数式 7.2-6}$$

7.2.4 その他

NO_x、SO_x、PM以外の燃焼起源の大気汚染物質の排出係数は、表 7.2-4に示す1996年改訂IPCCガイドラインの報告値を採用した。当該係数は熱量当たりの排出量 (g/MJ) として整理されているため、表 7.2-5に示す発熱量の値を用いて重量換算した。

表 7.2-4 その他の汚染物質の排出係数

項目	ディーゼル機関	補助ボイラ
CH ₄	0.007	0.0030
N ₂ O	0.002	0.0003
NMVOC	0.052	—
CO	0.180	0.0150

表 7.2-5 各種燃料の低位発熱量 (LHV)

油種	発熱量 (MJ/kg-fuel)		
	C 重油	A 重油	軽油
全船 (LHV)	40.64	42.31	42.31

* 第11回内航海運における使用燃料油、潤滑油に関する実態調査報告書 (内航総連、2007)

7.3 2010年を対象とした船舶発生源データ

7.3.1 商船からの排出源データ

(1) 活動量・排出量推定パラメータ

商船の活動量及び排出量の推定パラメータを表 7.3-1に示す。

表 7.3-2は、商船航行時の活動量(航行隻数)を2009年から2010年に換算するために使用した補正係数を示している。

表 7.3-3は、特定重要港湾(全国23港)において、2005年の船種別・船型別の商船停泊隻数を示し、表 7.3-4は2010年の年間停泊隻数を推計した結果を、表 7.3-5は2010年と2005年の隻数比を示したものである。

7.1.1に述べたよう、2005年の入港隻数に比較すると2010年の入港隻数は微減傾向を示しており、本節における推定においては、航行時には2009年のAIS受信データを2010年入港隻数を用いて補正、停泊中については2003年対象の停泊モデルと2010年入港隻数を用いて算定を行った。

また、商船のうち、内航船については、総燃料使用量を用いたトップダウン補正を行っている。表 7.3-6は、トップダウン補正係数を求めるため、ボトムアップで算出した燃料消費量とエネルギーバランス表による燃料消費量を示したものである。

表 7.3-1 船舶活動量及び排出量の推計パラメータ

パラメータ		2010 年	2005 年	備考
商船航行時の活動量	航行隻数	外内航別、船型別補正係数による換算（表 7.3-2参照）		港湾統計(年報) 韓国港湾統計
	航行速力 航行時間	2009 年 AIS データに基づく航行速力		2009 年 AIS データ
商船停泊時の活動量	特定重要港湾	港湾別、内外航別、船種別、船型別補正係数による換算		港湾統計(年報)、各港湾管理者の港湾統計資料等
	特定重要港湾以外	港湾別、内外航別、船型別補正係数による換算		
硫黄分濃度	内航船 A 重油	0.53%	0.61%	内航総連
	C 重油	2.17%	2.53%	
	外航船 A 重油	2.61%	2.70%	MEPC 62/4
Tier1 比率	内航商船	6.0%	0.0%	2011 年版 船舶明細書
	内航旅客	7.3%	0.0%	
	外航船	47.0%	21.3%	船齢構成（表 7.2-2 参照）
A 重油総発熱量 (MJ/L)	内航船	38.9	39.3	内航総連
	エネルギー統計	39.9	39.1	エネルギーバランス表
C 重油総発熱量 (MJ/L)	内航船	47.3	41.7	内航総連
	エネルギー統計	42.1	42.0	エネルギーバランス表
内航航行 A 重油使用比率	750kW 未満	85.93%	89.04%	内航総連
	1,100kW 未満	81.25%	73.33%	
	1,470kW 未満	29.57%	30.08%	
	1,850kW 未満	15.15%	25.90%	
	2,200kW 未満	16.13%	34.21%	
	3,700kW 未満	12.69%	22.15%	
	7,400kW 未満	2.86%	4.55%	
	7,400kW 以上	0.00%	4.35%	
内航航行 (AIS) に対する補正係数		1.119	1.220	表 7.3-6

表 7.3-2 AIS データの活動量 (メッシュ別航行隻数) の補正係数

船種	船型区分	2010年/2009年比	2010年/2005年比	2009年/2005年比
内航商船	5～500GT	1.0187	0.8447	0.8291
	500～1,000GT	0.9988	0.8659	0.8669
	1,000～3,000GT	0.9682	0.7508	0.7755
	3,000～6,000GT	1.0984	0.9088	0.8274
	6,000～10,000GT	0.9963	0.9985	1.0022
	10,000GT～	1.0597	1.5332	1.4468
外航商船	5～500GT	0.9127	0.5260	0.5763
	500～1,000GT	0.9231	0.5310	0.5752
	1,000～3,000GT	1.0593	0.9043	0.8536
	3,000～6,000GT	1.0084	0.7592	0.7529
	6,000～10,000GT	1.0976	1.0312	0.9394
	10,000GT～	1.0823	0.9515	0.8792
内航自航	5～500GT	1.0054	0.8649	0.8603
	500～1,000GT	0.9733	0.8216	0.8442
	1,000～3,000GT	0.8209	0.6423	0.7824
	3,000～6,000GT	1.0033	1.1421	1.1384
	6,000～10,000GT	0.9613	0.5662	0.5890
	10,000GT～	0.9291	0.5846	0.6292

* 津軽海峡等国際海峡を通過するのみの非日本寄港船の航行ルートについては 1.10

表 7.3-3 特定重要港湾における船種船型別入港隻数 (2005年の推計)

(単位：隻)

船型 \ 船種											合計	
	内航貨物	外航貨物	内航フェリー	内航コンテナ	外航コンテナ	内航タンカー	外航タンカー	内航客船	外航客船	内航PCC/RO/RO		外航PCC/RO/RO
0～500GT	228,963	4,341	27,841	1,766	5	181,454	396	42,914	0	0	0	487,679
500～1000GT	26,546	2,158	28,164	1,093	0	39,529	979	135	147	0	0	98,751
1000～3000GT	11,082	10,243	12,610	169	1,906	17,902	2,509	1,691	9	569	48	58,738
3000～6000GT	10,490	8,332	7,246	1,590	4,401	7,414	2,782	1,258	1	6,651	896	51,061
6000～10000GT	3,219	5,268	6,736	119	12,056	576	650	93	0	1,555	1,695	31,966
10000～30000GT	2,646	6,054	9,369	2	8,871	1,234	1,509	1,153	66	1,159	1,202	33,265
30000～60000GT	0	2,231	0	0	4,650	199	1,037	0	12	0	753	8,881
60000～100000GT	0	1,053	0	0	1,875	119	1,115	0	4	0	28	4,195
100000GT～	0	173	0	0	3	0	638	0	2	0	0	816
合計	282,946	39,852	91,966	4,738	33,766	248,428	11,614	47,245	240	9,934	4,622	775,352

表 7.3-4 特定重要港湾における船種船型別入港隻数 (2010 年の推計)

(単位：隻)

船種 船型	内航貨物	外航貨物	内航フェリー	内航コンテナ	外航コンテナ	内航タンカー	外航タンカー	内航客船	外航客船	内航PCC/RORO	外航PCC/RORO	合計
0～500GT	182,956	2,757	15,661	1,415	0	144,652	358	38,340	0	0	0	386,139
500～1000GT	23,664	1,306	20,860	987	0	35,121	668	133	93	0	0	82,833
1000～3000GT	8,948	9,639	8,382	143	1,822	12,466	2,722	1,465	8	473	38	46,106
3000～6000GT	8,409	6,960	6,563	1,257	2,701	7,186	2,192	896	1	5,235	648	42,046
6000～10000GT	3,902	5,360	4,080	116	12,664	1,080	696	74	0	1,234	1,817	31,022
10000～30000GT	3,037	6,064	6,032	4	8,912	1,346	1,527	1,404	65	1,922	1,182	31,496
30000～60000GT	0	2,330	0	0	4,680	224	1,044	0	12	0	754	9,043
60000～100000GT	0	1,082	0	0	1,862	234	1,109	0	4	0	28	4,318
100000GT～	0	180	0	0	3	0	656	0	2	0	0	841
合計	230,916	35,678	61,578	3,923	32,643	202,308	10,972	42,312	184	8,864	4,467	633,845

表 7.3-5 特定重要港湾における船種船型別入港隻数比 (2010 年/2005 年)

(単位：隻)

船種 船型	内航貨物	外航貨物	内航フェリー	内航コンテナ	外航コンテナ	内航タンカー	外航タンカー	内航客船	外航客船	内航PCC/RORO	外航PCC/RORO	合計
0～500GT	0.80	0.64	0.56	0.80	0.00	0.80	0.90	0.89	0.00	0.00	0.00	0.79
500～1000GT	0.89	0.61	0.74	0.90	0.00	0.89	0.68	0.99	0.63	0.00	0.00	0.84
1000～3000GT	0.81	0.94	0.66	0.85	0.96	0.70	1.08	0.87	0.99	0.83	0.79	0.78
3000～6000GT	0.80	0.84	0.91	0.79	0.61	0.97	0.79	0.71	0.55	0.79	0.72	0.82
6000～10000GT	1.21	1.02	0.61	0.98	1.05	1.87	1.07	0.79	0.00	0.79	1.07	0.97
10000～30000GT	1.15	1.00	0.64	2.30	1.00	1.09	1.01	1.22	1.00	1.66	0.98	0.95
30000～60000GT	0.00	1.04	0.00	0.00	1.01	1.12	1.01	0.00	1.00	0.00	1.00	1.02
60000～100000GT	0.00	1.03	0.00	0.00	0.99	1.96	0.99	0.00	0.93	0.00	1.00	1.03
100000GT～	0.00	1.04	0.00	0.00	1.00	0.00	1.03	0.00	0.82	0.00	0.00	1.03
合計	0.82	0.90	0.67	0.83	0.97	0.81	0.94	0.90	0.77	0.89	0.97	0.82

表 7.3-6 ボトムアップ推計 (補正前) 及びエネルギーバランス表における
燃料消費量 (TJ) の比較

エネルギー量 (TJ)	内航合計			内航自航 (係留) 内航旅客 (AIS) 旅客内航 (エネ統)			商船など (旅客以外)		
	A	C	合計	A	C	合計	A	C	合計
航行 (AIS)	37,337	62,855	100,192	2,046	20,625	22,671	35,290	42,230	77,520
停泊 (港湾統計)	32,608	2,635	35,243	3,279	644	3,923	29,329	1,991	31,320
ボトムアップ合計	69,945	65,490	135,434	5,325	21,269	26,594	64,619	44,221	108,840
エネルギー統計	40,768	106,548	147,317	8,299	38,574	46,873	32,469	67,974	100,443

(2) 商船の2010年の燃料消費量及び排出量 (50NM 以遠 EEZ 内除く)

商船航行時における燃料消費量の推計結果を図 7.3-1と表 7.3-7に、商船航行時の SO₂、NO_x 及び PM の排出量の推計結果を図 7.3-2～図 7.3-4及び表 7.3-8～表 7.3-10に示す。

また、特定重要港湾における商船停泊時の燃料消費量を図 7.3-5と表 7.3-11に、商船停泊時の SO₂、NO_x 及び PM の排出量を図 7.3-6～図 7.3-8及び表 7.3-12～表 7.3-14に示す。

商船に関しては、航行時、停泊時ともに2005年から2010年の間で活動量が減少したことにより、燃料消費量及び排出量ともに減少している。

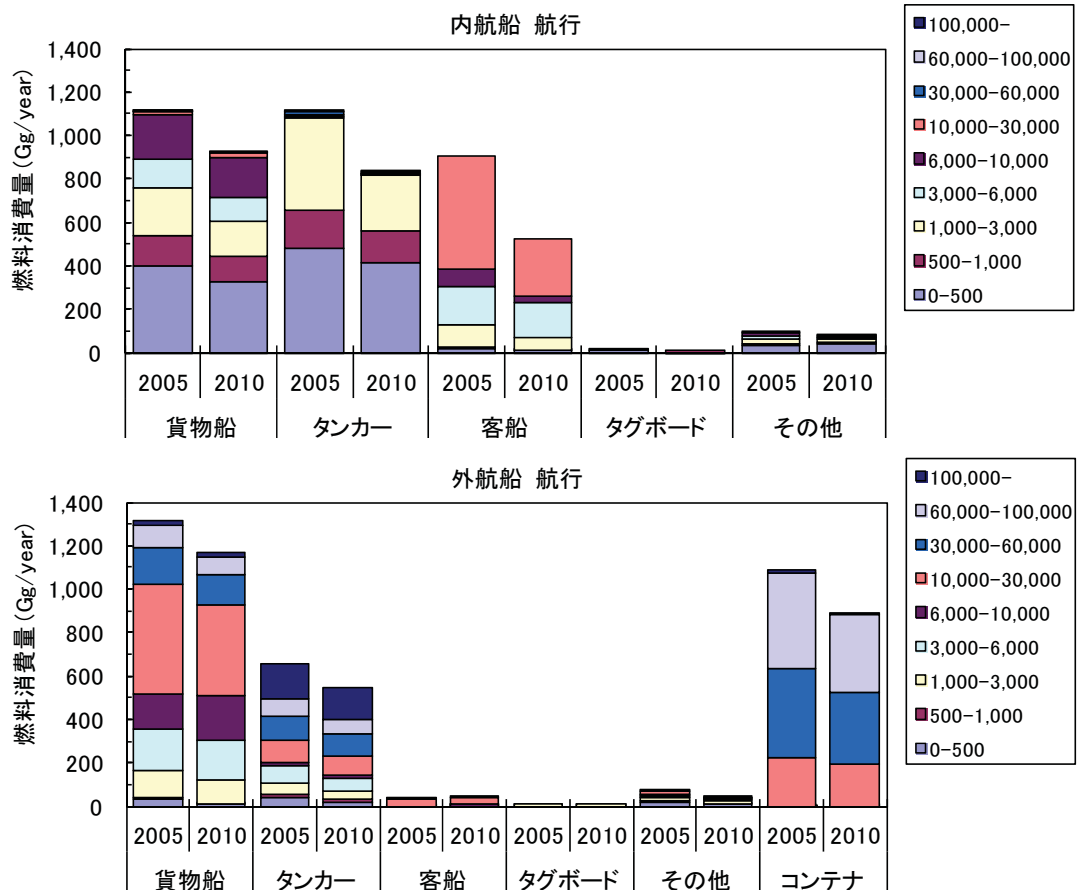


図 7.3-1 商船航行時の燃料消費量

表 7.3-7 商船航行時の燃料消費量 (単位 : Gg/year)

内外航	船種	対象年次	0	500	1,000	3,000	6,000	10,000	30,000-	60,000	100,000
			-500 GT	-1,000 GT	-3,000 GT	-6,000 GT	-10,000 GT	-30,000 GT	-60,000 GT	-100,000 GT	GT-
内航	貨物船	2005	403	137	220	128	205	16	2	0	0
		2010	323	123	162	106	186	19	2	0	0
	タンカー	2005	477	179	427	8	0	2	15	7	0
		2010	415	146	253	5	0	3	13	5	0
	客船	2005	19	10	100	171	83	520	0	0	0
		2010	8	6	55	160	32	263	0	0	0
タグボート	2005	10	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2010	5	0	0	0	0	0	0	0	0	
その他	2005	32	8	20	13	19	1	0	0	0	
	2010	39	10	10	9	12	0	0	0	0	
外航	貨物船	2005	32	10	120	191	166	503	166	102	25
		2010	9	4	111	177	209	414	142	84	21
	タンカー	2005	41	16	47	85	16	103	105	83	157
		2010	21	8	37	60	17	86	106	67	141
	客船	2005	3	0	0	1	2	28	6	0	0
		2010	3	1	1	1	3	30	7	0	0
	タグボート	2005	2	0	0	0	0	0	0	0	0
		2010	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	その他	2005	17	6	17	9	6	15	4	0	0
		2010	11	3	10	5	4	7	3	0	0
	コンテナ	2005	1	0	0	0	0	221	412	443	11
		2010	0	0	0	0	0	191	333	359	9

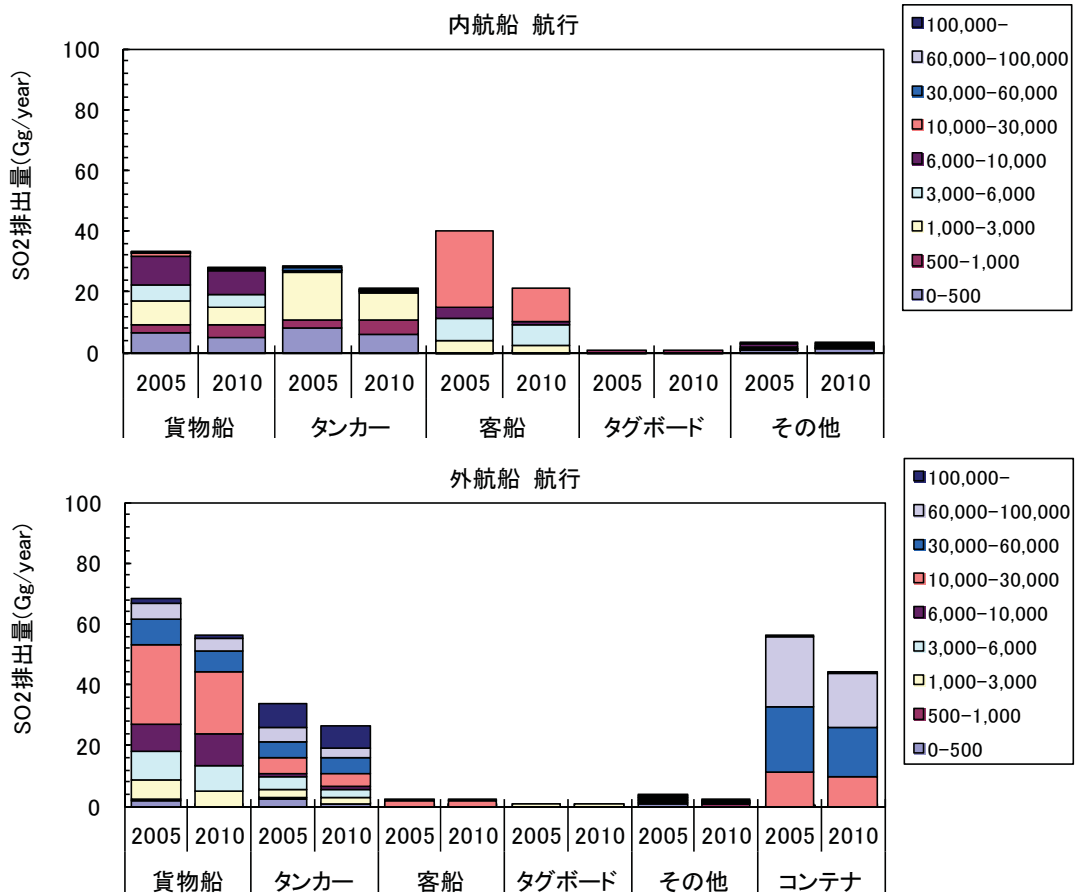


図 7.3-2 商船航行時の SO₂ 排出量

表 7.3-8 商船航行時の SO₂ 排出量 (単位 : Gg/year)

内外航	船種	対象年次	0	500	1,000	3,000	6,000	10,000	30,000-	60,000	100,000
			-500 GT	-1,000 GT	-3,000 GT	-6,000 GT	-10,000 GT	-30,000 GT	60,000 GT	-100,000 GT	GT-
内航	貨物船	2005	6.733	2.278	8.223	5.170	9.497	0.769	0.094	0.014	0.000
		2010	4.972	4.216	5.885	4.215	7.435	0.783	0.092	0.013	0.000
	タンカー	2005	7.897	2.944	15.838	0.305	0.000	0.088	0.702	0.314	0.000
		2010	6.139	4.574	9.073	0.196	0.000	0.116	0.531	0.212	0.000
	客船	2005	0.317	0.174	3.673	6.914	3.817	25.012	0.000	0.000	0.000
		2010	0.151	0.218	2.115	6.525	1.300	10.793	0.000	0.000	0.000
	タグボード	2005	0.151	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		2010	0.202	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	その他	2005	0.549	0.137	0.732	0.541	0.870	0.029	0.000	0.000	0.000
		2010	1.173	0.349	0.366	0.359	0.495	0.009	0.000	0.000	0.000
外航	貨物船	2005	1.669	0.542	6.220	9.892	8.594	26.012	8.592	5.287	1.291
		2010	0.338	0.150	4.731	8.316	10.245	20.411	7.040	4.164	1.056
	タンカー	2005	2.137	0.805	2.418	4.407	0.847	5.340	5.416	4.305	8.120
		2010	0.727	0.315	1.730	2.839	0.827	4.244	5.261	3.320	6.964
	客船	2005	0.148	0.021	0.011	0.073	0.111	1.453	0.289	0.000	0.000
		2010	0.140	0.025	0.025	0.039	0.146	1.478	0.329	0.000	0.000
	タグボード	2005	0.088	0.008	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		2010	0.045	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	その他	2005	0.869	0.304	0.872	0.444	0.297	0.782	0.221	0.000	0.000
		2010	0.392	0.159	0.483	0.230	0.193	0.348	0.142	0.000	0.000
	コンテナ	2005	0.041	0.016	0.000	0.002	0.000	11.403	21.258	22.790	0.581
		2010	0.015	0.005	0.000	0.001	0.000	9.451	16.518	17.747	0.469

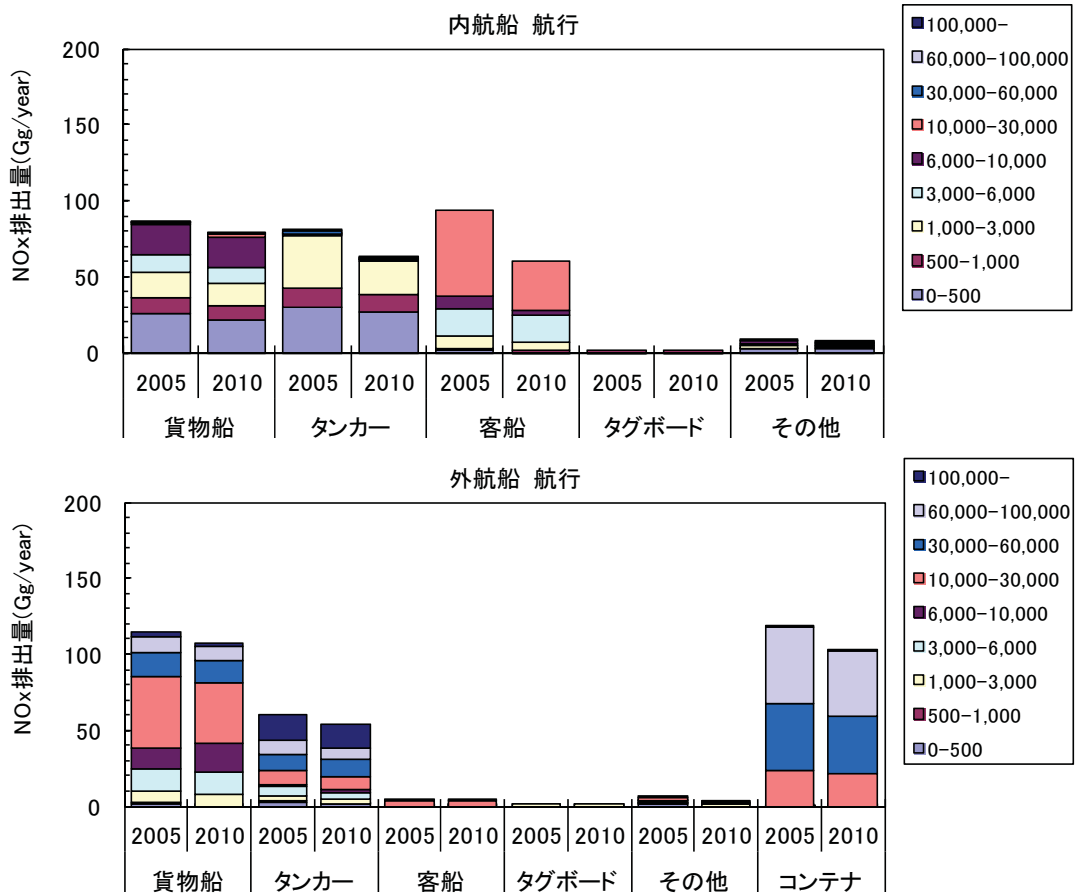


図 7.3-3 商船航行時の NOx 排出量

表 7.3-9 商船航行時の NOx 排出量 (単位：Gg/year)

内外航	船種	対象年次	0	500	1,000	3,000	6,000	10,000	30,000-	60,000	100,000
			-500 GT	-1,000 GT	-3,000 GT	-6,000 GT	-10,000 GT	-30,000 GT	-60,000 GT	-100,000 GT	GT-
内航	貨物船	2005	25.539	10.185	17.450	11.066	19.565	1.610	0.204	0.031	0.000
		2010	21.498	9.905	14.264	10.204	19.899	2.147	0.263	0.039	0.000
	タンカー	2005	29.651	13.173	34.363	0.643	0.000	0.185	1.571	0.733	0.000
		2010	27.153	11.405	21.962	0.472	0.000	0.309	1.525	0.644	0.000
	客船	2005	1.274	0.869	9.005	17.689	8.788	55.722	0.000	0.000	0.000
		2010	0.517	0.542	5.427	18.024	3.761	31.461	0.000	0.000	0.000
	タグボート	2005	0.857	0.023	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		2010	0.520	0.018	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	その他	2005	2.342	0.654	1.671	1.194	1.794	0.058	0.000	0.000	0.000
		2010	2.964	0.822	0.901	0.862	1.288	0.022	0.000	0.000	0.000
外航	貨物船	2005	1.688	0.643	8.049	14.128	13.949	46.457	15.934	10.692	2.608
		2010	0.430	0.254	7.623	14.029	19.176	39.763	14.428	9.324	2.365
	タンカー	2005	2.230	0.991	3.278	6.427	1.306	9.538	10.564	8.844	16.757
		2010	1.177	0.539	2.786	4.859	1.446	8.419	11.606	7.550	15.940
	客船	2005	0.186	0.029	0.016	0.122	0.198	2.671	0.556	0.000	0.000
		2010	0.253	0.046	0.050	0.077	0.311	3.159	0.707	0.000	0.000
	タグボート	2005	0.140	0.013	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		2010	0.084	0.006	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	その他	2005	1.053	0.418	1.320	0.707	0.518	1.422	0.419	0.000	0.000
		2010	0.645	0.245	0.785	0.397	0.358	0.674	0.290	0.000	0.000
	コンテナ	2005	0.037	0.019	0.000	0.003	0.000	23.087	44.080	50.057	1.276
		2010	0.018	0.010	0.000	0.002	0.000	21.271	37.928	43.182	1.142

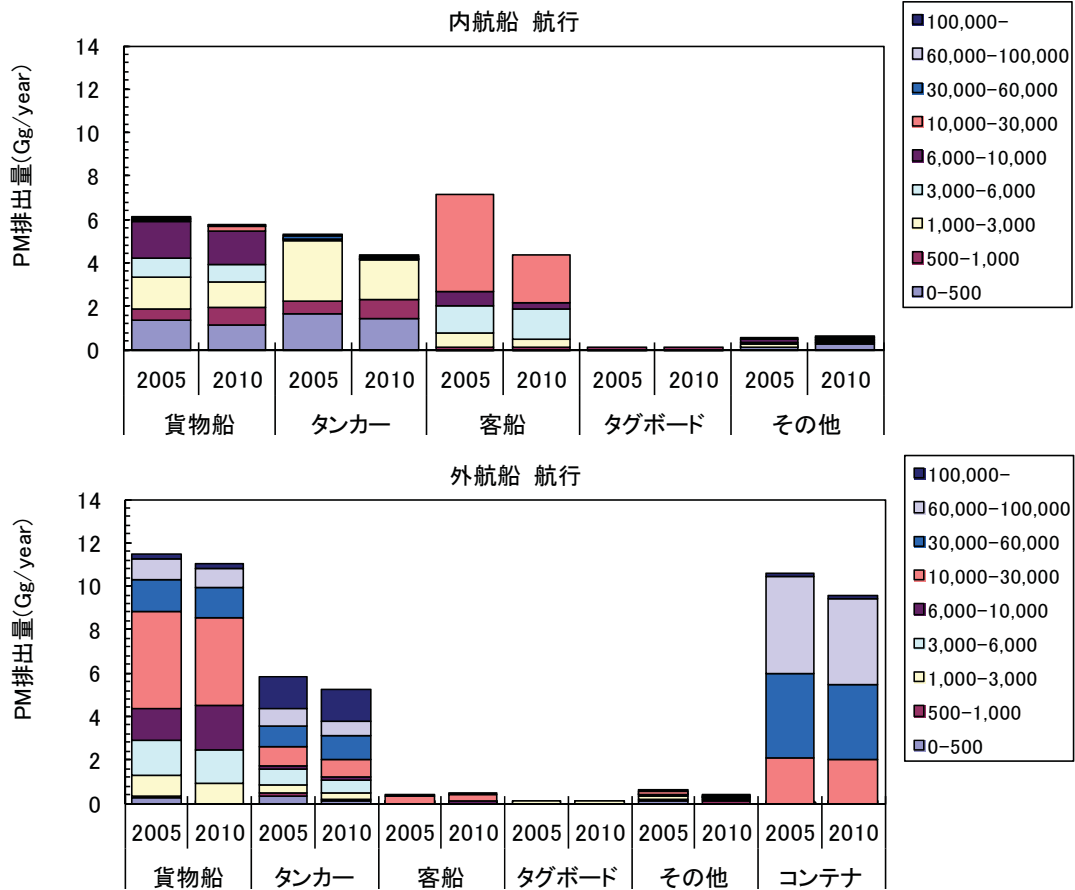


図 7.3-4 商船航行時の PM 排出量

表 7.3-10 商船航行時の PM 排出量 (単位: Gg/year)

内外航	船種	対象年次	0	500	1,000	3,000	6,000	10,000	30,000-	60,000	100,000
			-500 GT	-1,000 GT	-3,000 GT	-6,000 GT	-10,000 GT	-30,000 GT	-100,000 GT	GT-	
内航	貨物船	2005	1.391	0.487	1.427	0.887	1.679	0.136	0.016	0.002	0.000
		2010	1.124	0.835	1.164	0.825	1.538	0.162	0.019	0.003	0.000
	タンカー	2005	1.636	0.632	2.764	0.052	0.000	0.015	0.126	0.059	0.000
		2010	1.411	0.916	1.796	0.039	0.000	0.024	0.111	0.046	0.000
	客船	2005	0.066	0.038	0.669	1.261	0.677	4.429	0.000	0.000	0.000
		2010	0.030	0.045	0.434	1.349	0.268	2.240	0.000	0.000	0.000
	タグボード	2005	0.038	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		2010	0.044	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	その他	2005	0.108	0.028	0.127	0.092	0.154	0.005	0.000	0.000	0.000
		2010	0.234	0.069	0.072	0.070	0.102	0.002	0.000	0.000	0.000
外航	貨物船	2005	0.244	0.083	0.974	1.580	1.468	4.480	1.476	0.953	0.231
		2010	0.047	0.025	0.854	1.544	2.025	4.033	1.389	0.860	0.217
	タンカー	2005	0.325	0.127	0.389	0.717	0.138	0.924	0.963	0.787	1.490
		2010	0.125	0.057	0.319	0.531	0.156	0.842	1.077	0.697	1.468
	客船	2005	0.024	0.003	0.002	0.012	0.019	0.250	0.050	0.000	0.000
		2010	0.027	0.005	0.005	0.008	0.029	0.294	0.065	0.000	0.000
	タグボード	2005	0.016	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		2010	0.009	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	その他	2005	0.125	0.047	0.141	0.072	0.051	0.135	0.038	0.000	0.000
		2010	0.065	0.028	0.088	0.043	0.038	0.068	0.028	0.000	0.000
	コンテナ	2005	0.006	0.003	0.000	0.000	0.000	2.085	3.914	4.440	0.113
		2010	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	1.985	3.490	3.970	0.105

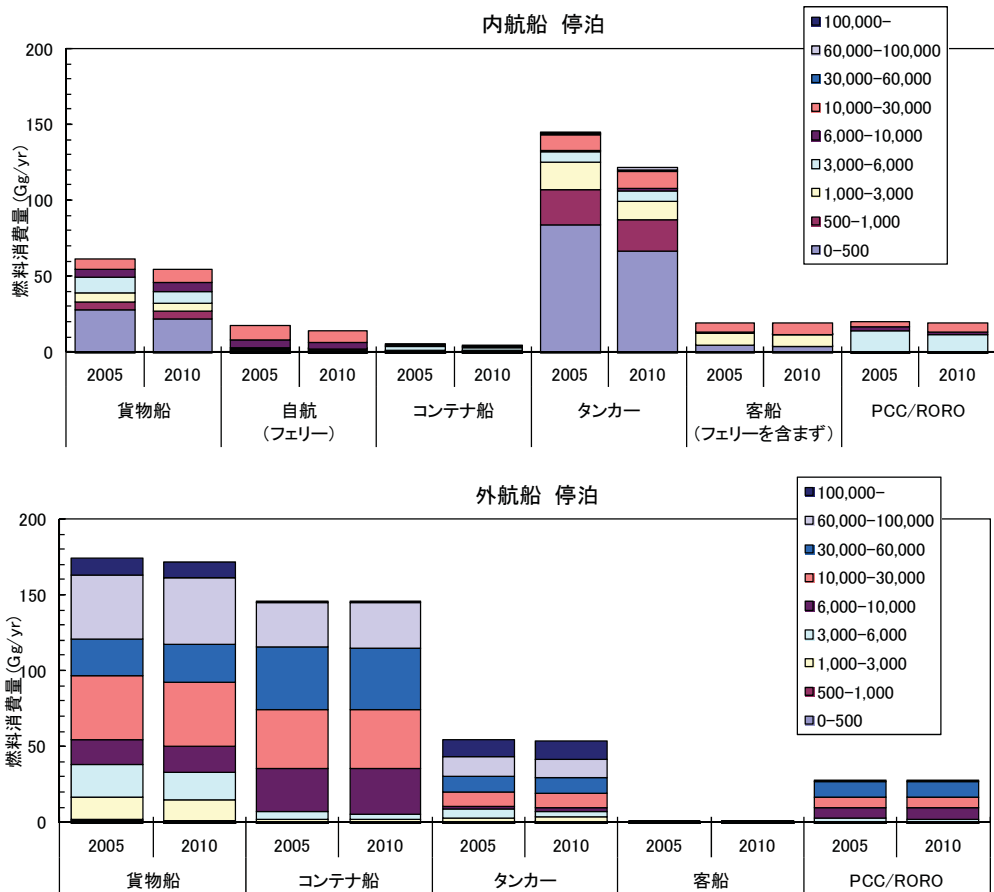


図 7.3-5 商船停泊時の燃料消費量 (特定重要港湾)

表 7.3-11 商船停泊時の燃料排出量 (特定重要港湾、単位：Gg/year)

内外航	船種	対象年次	0	500	1,000	3,000	6,000	10,000	30,000-	60,000	100,000
			-500 GT	-1,000 GT	-3,000 GT	-6,000 GT	-10,000 GT	-30,000 GT	60,000 GT	-100,000 GT	GT-
内航	貨物船	2005	27.749	5.941	5.862	10.138	5.209	6.999	0.000	0.000	0.000
		2010	22.238	5.198	4.564	8.215	6.308	8.096	0.000	0.000	0.000
	自航 (フェリー)	2005	0.599	0.877	0.852	0.791	4.779	9.602	0.000	0.000	0.000
		2010	0.460	0.775	0.616	0.746	3.674	8.409	0.000	0.000	0.000
	コンテナ船	2005	0.259	0.526	0.376	2.944	0.411	0.007	0.000	0.000	0.000
		2010	0.207	0.474	0.316	2.331	0.395	0.016	0.000	0.000	0.000
	タンカー	2005	83.898	23.159	18.391	6.905	0.546	10.785	1.026	0.699	0.000
		2010	66.880	20.638	12.509	6.758	1.023	11.763	1.132	1.356	0.000
	客船	2005	4.735	0.085	8.116	0.488	0.116	6.230	0.000	0.000	0.000
		2010	4.229	0.084	7.027	0.349	0.089	7.684	0.000	0.000	0.000
PCC/ RORO	2005	0.000	0.000	0.628	14.096	2.460	3.315	0.000	0.000	0.000	
	2010	0.000	0.000	0.515	11.074	1.953	5.528	0.000	0.000	0.000	
外航	貨物船	2005	1.128	1.480	14.106	22.133	15.983	42.537	24.001	42.245	10.549
		2010	0.784	0.907	13.267	18.673	16.491	42.772	25.099	43.351	10.962
	コンテナ船	2005	0.001	0.000	2.643	5.131	28.445	38.588	40.804	29.977	0.046
		2010	0.000	0.000	2.513	3.145	29.875	38.745	40.955	29.741	0.046
	タンカー	2005	0.171	0.586	2.791	5.183	1.868	9.886	10.140	12.583	11.507
		2010	0.159	0.407	2.998	4.070	2.005	9.979	10.197	12.484	11.715
	客船	2005	0.000	0.005	0.007	0.000	0.000	0.439	0.040	0.019	0.012
		2010	0.000	0.004	0.006	0.000	0.000	0.428	0.039	0.019	0.011
	PCC/ RORO	2005	0.000	0.000	0.104	2.749	7.509	6.786	10.381	0.391	0.000
		2010	0.000	0.000	0.082	1.991	8.062	6.669	10.396	0.392	0.000

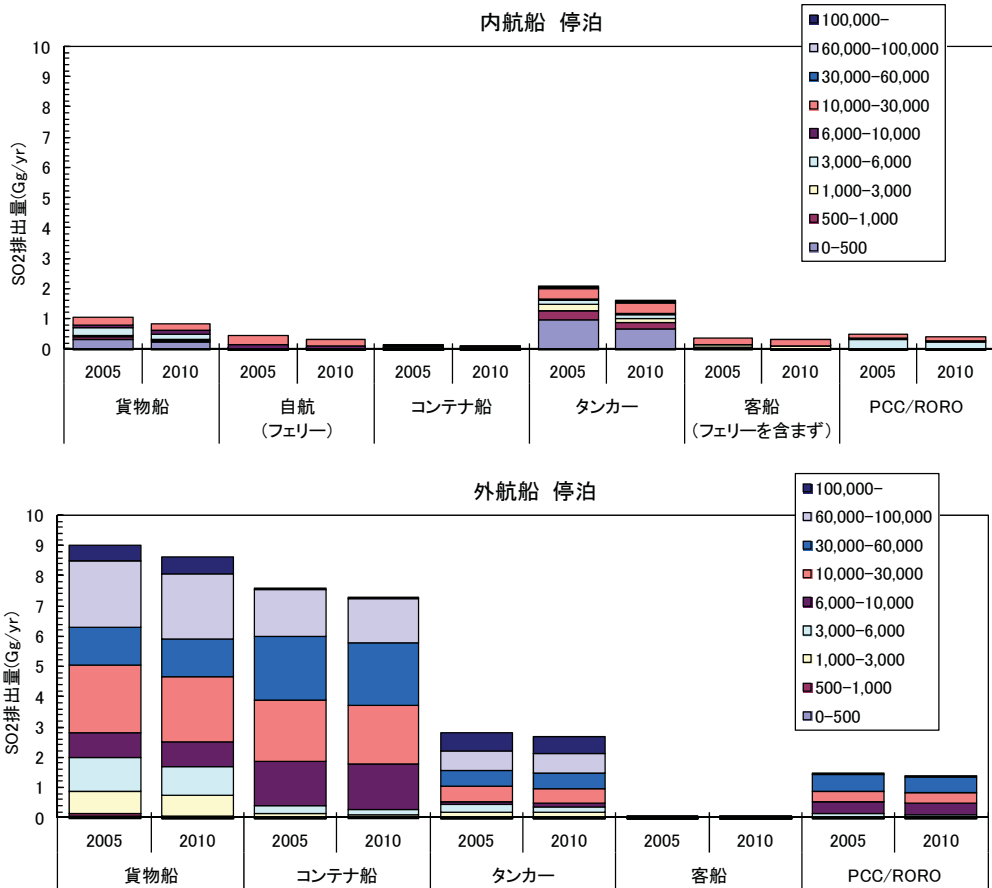


図 7.3-6 商船停泊時の SO₂ 排出量 (特定重要港湾)

表 7.3-12 商船停泊時の SO₂ 排出量 (特定重要港湾、単位 : Gg/year)

内外航	船種	対象年次	0	500	1,000	3,000	6,000	10,000	30,000-	60,000	100,000
			-500 GT	-1,000 GT	-3,000 GT	-6,000 GT	-10,000 GT	-30,000 GT	60,000 GT	-100,000 GT	GT-
内航	貨物船	2005	0.326	0.070	0.069	0.235	0.121	0.235	0.000	0.000	0.000
		2010	0.227	0.053	0.047	0.164	0.126	0.233	0.000	0.000	0.000
	自航 (フェリー)	2005	0.007	0.010	0.010	0.018	0.111	0.322	0.000	0.000	0.000
		2010	0.005	0.008	0.006	0.015	0.073	0.242	0.000	0.000	0.000
	コンテナ船	2005	0.003	0.006	0.004	0.068	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000
		2010	0.002	0.005	0.003	0.047	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000
	タンカー	2005	0.986	0.272	0.216	0.160	0.013	0.362	0.050	0.034	0.000
		2010	0.683	0.211	0.128	0.135	0.020	0.339	0.047	0.057	0.000
客船	2005	0.056	0.001	0.095	0.011	0.003	0.209	0.000	0.000	0.000	
	2010	0.043	0.001	0.072	0.007	0.002	0.221	0.000	0.000	0.000	
PCC/ RORO	2005	0.000	0.000	0.007	0.327	0.057	0.111	0.000	0.000	0.000	
	2010	0.000	0.000	0.005	0.221	0.039	0.159	0.000	0.000	0.000	
外航	貨物船	2005	0.059	0.077	0.733	1.149	0.830	2.209	1.247	2.194	0.548
		2010	0.039	0.046	0.666	0.938	0.828	2.147	1.260	2.176	0.550
	コンテナ船	2005	0.000	0.000	0.137	0.266	1.477	2.004	2.119	1.557	0.002
		2010	0.000	0.000	0.126	0.158	1.500	1.945	2.056	1.493	0.002
	タンカー	2005	0.009	0.030	0.145	0.269	0.097	0.513	0.527	0.654	0.598
		2010	0.008	0.020	0.151	0.204	0.101	0.501	0.512	0.627	0.588
	客船	2005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.023	0.002	0.001	0.001
		2010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.021	0.002	0.001	0.001
	PCC/ RORO	2005	0.000	0.000	0.005	0.143	0.390	0.352	0.539	0.020	0.000
		2010	0.000	0.000	0.004	0.100	0.405	0.335	0.522	0.020	0.000

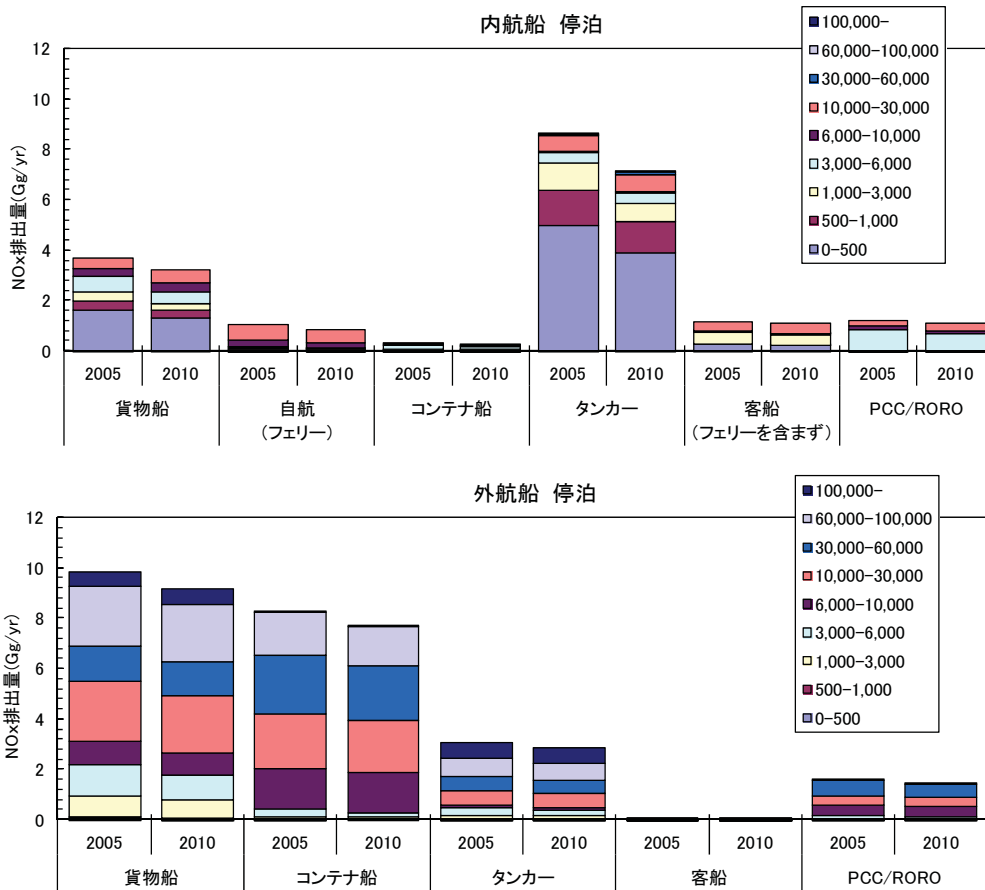


図 7.3-7 商船停泊時の NOx 排出量 (特定重要港湾)

表 7.3-13 商船停泊時の NOx 排出量 (特定重要港湾、単位：Gg/year)

内外航	船種	対象年次	0	500	1,000	3,000	6,000	10,000	30,000-	60,000	100,000
			-500 GT	-1,000 GT	-3,000 GT	-6,000 GT	-10,000 GT	-30,000 GT	60,000 GT	-100,000 GT	GT-
内航	貨物船	2005	1.655	0.354	0.350	0.605	0.311	0.417	0.000	0.000	0.000
		2010	1.308	0.306	0.268	0.483	0.371	0.476	0.000	0.000	0.000
	自航 (フェリー)	2005	0.036	0.052	0.051	0.047	0.285	0.573	0.000	0.000	0.000
		2010	0.027	0.045	0.036	0.044	0.215	0.493	0.000	0.000	0.000
	コンテナ船	2005	0.015	0.031	0.022	0.176	0.025	0.000	0.000	0.000	0.000
		2010	0.012	0.028	0.019	0.137	0.023	0.001	0.000	0.000	0.000
	タンカー	2005	5.004	1.381	1.097	0.412	0.033	0.643	0.061	0.042	0.000
		2010	3.934	1.214	0.736	0.397	0.060	0.692	0.067	0.080	0.000
客船	2005	0.282	0.005	0.484	0.029	0.007	0.372	0.000	0.000	0.000	
	2010	0.248	0.005	0.412	0.020	0.005	0.451	0.000	0.000	0.000	
PCC/ RORO	2005	0.000	0.000	0.037	0.841	0.147	0.198	0.000	0.000	0.000	
	2010	0.000	0.000	0.030	0.651	0.115	0.325	0.000	0.000	0.000	
外航	貨物船	2005	0.064	0.084	0.800	1.255	0.906	2.412	1.361	2.396	0.598
		2010	0.042	0.048	0.705	0.993	0.877	2.274	1.335	2.305	0.583
	コンテナ船	2005	0.000	0.000	0.150	0.291	1.613	2.188	2.314	1.700	0.003
		2010	0.000	0.000	0.134	0.167	1.589	2.060	2.178	1.581	0.002
	タンカー	2005	0.010	0.033	0.158	0.294	0.106	0.561	0.575	0.714	0.653
		2010	0.008	0.022	0.159	0.216	0.107	0.531	0.542	0.664	0.623
	客船	2005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.025	0.002	0.001	0.001
		2010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.023	0.002	0.001	0.001
	PCC/ RORO	2005	0.000	0.000	0.006	0.156	0.426	0.385	0.589	0.022	0.000
		2010	0.000	0.000	0.004	0.106	0.429	0.355	0.553	0.021	0.000

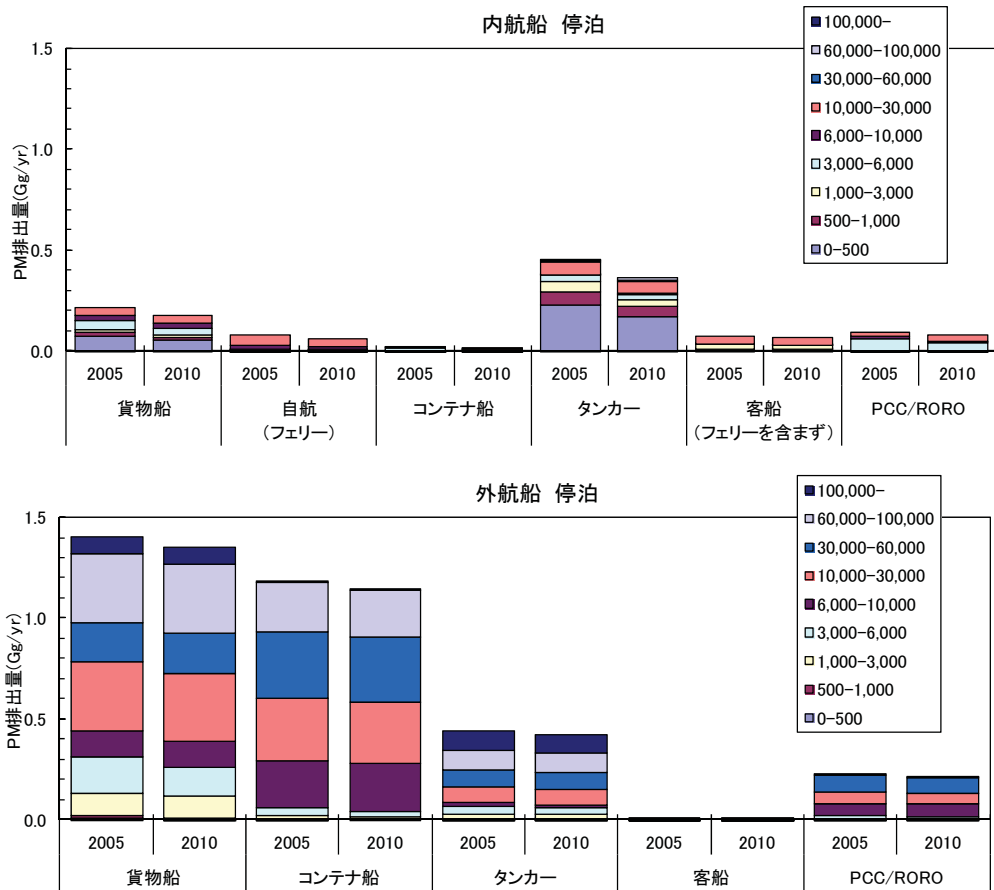


図 7.3-8 商船停泊時の PM 排出量 (特定重要港湾)

表 7.3-14 商船停泊時の PM 排出量 (特定重要港湾、単位：Gg/year)

内外航	船種	対象年次	0	500	1,000	3,000	6,000	10,000	30,000-	60,000	100,000
			-500 GT	-1,000 GT	-3,000 GT	-6,000 GT	-10,000 GT	-30,000 GT	60,000 GT	-100,000 GT	GT-
内航	貨物船	2005	0.077	0.016	0.016	0.043	0.022	0.040	0.000	0.000	0.000
		2010	0.057	0.013	0.012	0.032	0.024	0.041	0.000	0.000	0.000
	自航 (フェリー)	2005	0.002	0.002	0.002	0.003	0.020	0.054	0.000	0.000	0.000
		2010	0.001	0.002	0.002	0.003	0.014	0.042	0.000	0.000	0.000
	コンテナ船	2005	0.001	0.001	0.001	0.013	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
		2010	0.001	0.001	0.001	0.009	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
	タンカー	2005	0.233	0.064	0.051	0.030	0.002	0.061	0.008	0.005	0.000
2010		0.172	0.053	0.032	0.026	0.004	0.059	0.008	0.009	0.000	
客船	2005	0.013	0.000	0.023	0.002	0.000	0.035	0.000	0.000	0.000	
	2010	0.011	0.000	0.018	0.001	0.000	0.039	0.000	0.000	0.000	
PCC/ RORO	2005	0.000	0.000	0.002	0.060	0.011	0.019	0.000	0.000	0.000	
	2010	0.000	0.000	0.001	0.043	0.008	0.028	0.000	0.000	0.000	
外航	貨物船	2005	0.009	0.012	0.114	0.179	0.129	0.344	0.194	0.342	0.085
		2010	0.006	0.007	0.104	0.147	0.130	0.336	0.197	0.341	0.086
	コンテナ船	2005	0.000	0.000	0.021	0.042	0.230	0.312	0.330	0.242	0.000
		2010	0.000	0.000	0.020	0.025	0.235	0.305	0.322	0.234	0.000
	タンカー	2005	0.001	0.005	0.023	0.042	0.015	0.080	0.082	0.102	0.093
		2010	0.001	0.003	0.024	0.032	0.016	0.078	0.080	0.098	0.092
	客船	2005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000
		2010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000
	PCC/ RORO	2005	0.000	0.000	0.001	0.022	0.061	0.055	0.084	0.003	0.000
		2010	0.000	0.000	0.001	0.016	0.063	0.052	0.082	0.003	0.000

(3) 距岸 50NM 以遠 EEZ 内の燃料消費量及び排出量 (外航商船航行時)

2010 年の外航商船航行時の燃料消費量と SO₂、NO_x 及び PM 排出量の算出結果を表 7.3-15 に示す。港湾統計(年報)によると日本に寄港する外航船の隻数は全体的に減少しているが、国際海峡のみ通過する日本非寄港外航船の隻数が増加したため、2010 年における距岸 50NM 以遠 EEZ の燃料消費量は 2005 年と比べて 5%程微増した。

なお、2005 年の燃料消費量については、別途、海上技術安全研究所が算出した値に補正しており、2010 年の燃料消費量については、2005 年と同じ補正係数 2.76 を用いる場合と補正係数を用いない場合で算出した。

表 7.3-15 距岸 50NM 以遠 EEZ 内における外航商船航行時の活動量等

(単位 : ton/year)

	2010 年		2005 年
	補正なし	補正あり	
燃料消費量	1,073,847	2,963,818	2,810,546
NO _x	101,388	279,830	102,738
SO ₂	53,586	147,897	149,347
PM	9,731	26,859	9,494

(4) 2010年と2005年の比較 (50NM以内)

2010年と2005年で商船の燃料消費量及び排出量を比較すると表 7.3-16に示すとおりとなる。

商船航行時の燃料消費量及び排出量は、平成 22 年度事業で作成した 2005 年ので 0 に対し、港湾統計年報より求めた内外航別、船型別の補正係数を航行隻数に乗じることによって 2010 年のデータを作成した。前述のとおり、商船航行時の燃料消費量及び排出量は、2009 年 7 月 1 ヶ月分の AIS データに基づいており、過年度で作成した 2005 年のデータも今年度作成した 2010 年のデータも同じ方法によるものである。ここでは、航行速度は AIS に記録されているデータをそのまま利用しているため、海運不況に伴う減速航行による船腹量調整の活動量 (燃料消費量) の変化は考慮されていないこととなる。

商船停泊時の燃料消費量及び排出量は、平成 22 年度事業で作成した 2005 年のデータに対し、船種別 (特定重要港湾は 11 区分、それ以外は 3 区分)、船型別の補正係数を停泊隻数に乗じることにより 2010 年のデータを作成した。

2010 年の航行隻数及び停泊隻数は 2005 年に対して少なくなるため、燃料消費量及び排出量はいずれも減少している。

表 7.3-16 商船の燃料消費量及び排出量の比較

		燃料消費量及び排出量 (Gg/year)		2010年/2005年	
		2010年	2005年		
航行時 (50NM以内)	内航	燃料消費量	2,372.59	3,231.24	0.734
		SO ₂	72.51	103.79	0.699
		NO _x	208.82	267.91	0.779
		PM	14.97	19.00	0.788
	外航	燃料消費量	2,695.33	3,173.21	0.849
		SO ₂	131.06	163.98	0.799
		NO _x	219.03	242.50	0.903
		PM	26.62	28.90	0.921
停泊時	内航	燃料消費量	233.63	269.60	0.867
		SO ₂	3.66	4.60	0.796
		NO _x	13.74	16.08	0.854
		PM	0.77	0.94	0.819
	外航	燃料消費量	399.44	402.95	0.991
		SO ₂	20.05	20.93	0.958
		NO _x	21.24	22.85	0.930
		PM	3.14	3.26	0.963

7.3.2 漁船からの排出源データ

基本的には平成 22 年度事業と同じ手順で 2008 年 (第 12 次) 漁業センサス (以下「漁業センサス」) により、海域別 (都道府県・大海区別)、トン数区分別の延べ漁業従事日数を求め、トン数グループ別に航行速力や操業・航行時間等の活動パターンを想定した上で燃料消費量をボトムアップで算出し、2010 年エネルギーバランス表の水産業における重油消費量の値にトップダウン補正した。

(1) 計算条件

① 燃料消費率 (SFC)

漁船の燃料消費率 (SFC) は、IMO の GHG 2nd Study 2009 より、一律 225[g-fuel/kWh] と設定した。

② 航行速力及び操業時の速力と時間の設定

漁船の航行・操業時の速力及び航行・操業時間については、平成 23 年度事業で見直した表 7.3-17 に示す設定とした。

表 7.3-17 トン数区分別の漁船操業パターンと活動範囲 (200NM 以内)

トン数 区分	速力 [ノット]		時間 [h/day]		負荷率 [%]		活動範囲 [NM]	
	操業時	航行時	操業時	航行時	操業時	航行時	操業時	航行時
1T 未満	—	12.0 (-3.0)	4.0 (-2.0)	2.0 (-1.0)	5	85	0~12	0~12
1~ 3								
3~ 5								
5~ 10								
10~ 20	4.5 (+4.5)	15.0	8.0 (+2.0)	4.0 (+1.0)	62 (+57)	85	12~48	0~30
20~ 30								
30~ 50	3.43 (-0.57)	12.0	14.0 (+2.0)	5.0	85 (+10)	85	12~108	0~60
50~ 100								
100~ 150								
150~ 200	4.0	12.0	12.0	11.75	85 (+20)	85	93~189	0~141

③ 活動パターンの想定

漁船の活動パターンは、平成 23 年度事業で見直した図 7.3-9に示す設定とした。

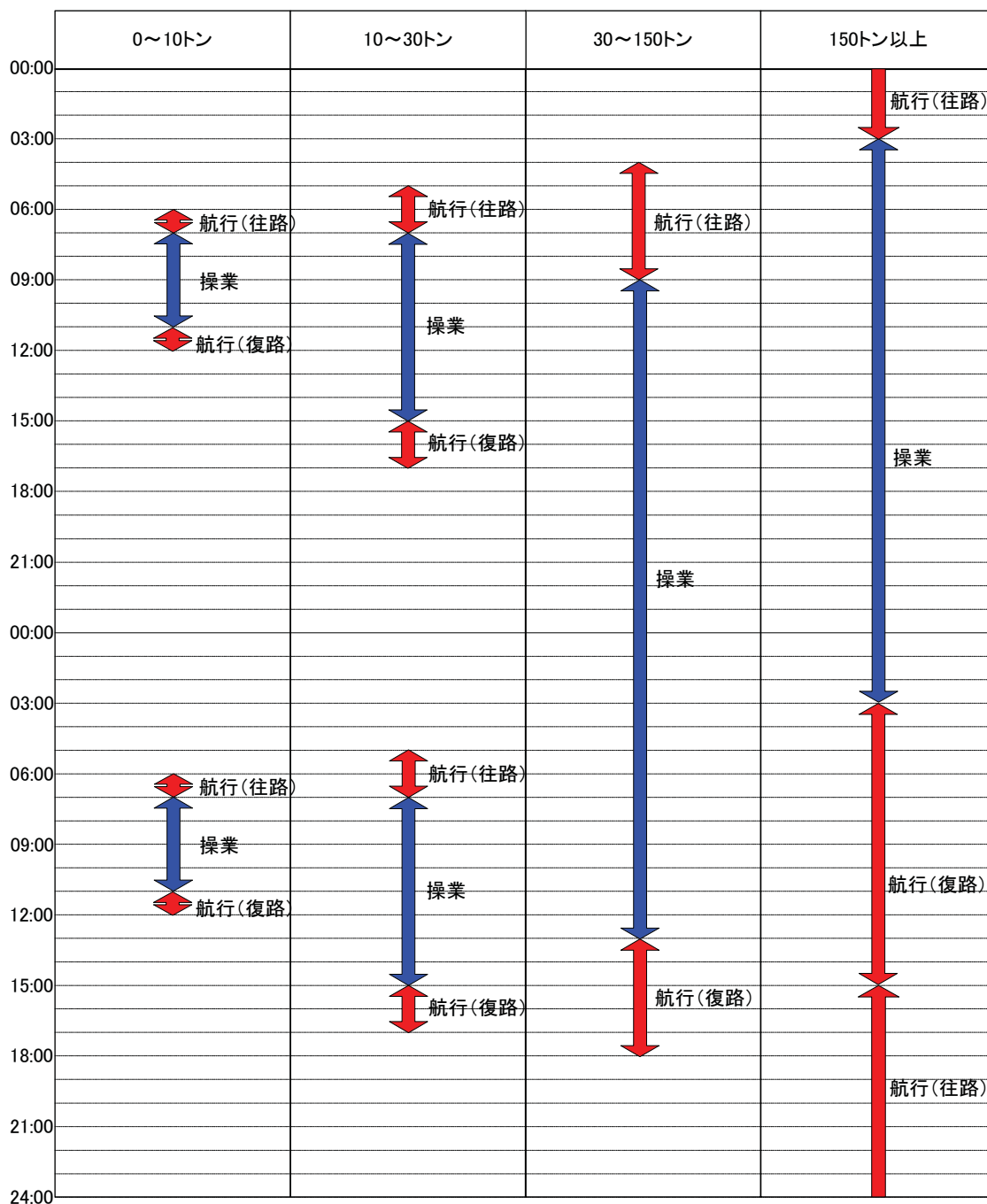


図 7.3-9 漁船の活動パターンの想定

④ 排出源データの作成方法

海域別・トン数区分別に求めた漁船活動量の地域配分については、平成 22 年度事業で作成したデータを活用した。

⑤ 機関定格馬力の設定

各トン数区分における機関定格馬力については、平成 22 年度事業の結果を基に表 7.3-18に示すとおり設定した。

表 7.3-18 トン数区分別の機関定格馬力

トン数区分	平均総トン数	平均馬力 (kW)	回帰式による 機関定格馬力 (kW)
1トン未満	0.7	26.1	35
1～3	1.9	51.5	60
3～5	4.4	106.1	95
5～10	7.8	167.4	129
10～20	15.1	250.3	186
20～30	26.0	152.0	249
30～50	39.4	321.8	312
50～100	79.0	461.7	455
100～150	129.2	558.0	595
150～200	174.2	850.2	699
200～350	304.9	932.3	947
350～500	414.8	808.7	1 119
500～1,000	666.8	1,390.3	1 448

(2) 活動量と燃料消費量の算出

① 漁船隻数と漁業従事日数

表 7.3-19は、2003年（第11次）と2008年（第12次）のそれぞれの漁業センサスにおける出力日数別動力船隻数とその比を示したものであり、これによると2008年は2003年に対しておよそ83%の出漁日数となっている。2008年（第12次）漁業センサスには1経営体平均漁業従事日数が示されていないため、ここでは、表 7.3-20に示すとおり、2010年と2008年の出漁日数の比（0.8338）を、2003年（第11次）漁業センサスの1経営体平均漁業従事日数に乗じることによって、2008年の平均漁業従事日数を推計した。

2008年（第12次）漁業センサス（全国・大海区編）による経営体階層別動力船隻数と経営体階層別平均漁業従事日数は、表 7.3-21のとおりであり、平均漁業従事日数を動力船隻数に乗じることにより、各区分での延べ漁業従事日数を表 7.3-22のとおり求めることができ、これをトン数区分別に合計することにより、各トン数区分の延べ漁業従事日数が得られる。

また、漁業センサス（都道府県編）には、表 7.3-23に示すとおり、都道府県・大海区別、トン数区分別漁船隻数が集計されており、この表と表 7.3-22で求めたトン数区分別延べ漁業従事日数より、表 7.3-24のとおり、都道府県・大海区別、トン数区分別延べ漁業従事日数を求めることができる。なお、2008年（第12次）漁業センサス（都道府県編）には、200海里以内の漁業隻数が集計されていないので、ここでは、200トン以上の船舶は200海里以遠で活動するものとし、表 7.3-25に200海里以内の都道府県・大海区別、トン数区分別延べ漁業従事日数を示す。

表 7.3-26と表 7.3-27は、それぞれ2003年から2008年までの登録漁船隻数と漁業従事日数の増減を都道府県別・大海区別に示したものである。2003年の登録漁船隻数は総計114,925隻であったが、2008年には15,863隻減少して99,062隻となった。約86%に減少したこととなる。延べ漁業従事日数は2003年の20,297,017日から5,732,657日減って2010年は14,654,360日となり、約72%に減少した。1隻あたりの漁業従事日数は、2003年では177日/隻、2008年では148日/隻で約84%に減少した。

表 7.3-19 出漁日数別動力漁船隻数

出力日数	代表値	動力船隻数	
		2003年	2008年
29日以下	29	2,935	3,385
30～89	89	21,428	19,750
90～149	149	29,651	27,078
150～199	199	22,850	18,482
200～249	249	19,235	16,256
250～299	299	11,508	8,590
300日以上	320	7,318	5,521
合計出漁日数		16,139	13,457
比率 (2008/2003)		0.8338	

表 7.3-20 2008年における1経営体平均漁業従事日数の推計

経営体階層		トン数区分	No	2003年の 平均漁業従事日数 (日)	出漁日数による補正	2008年の 平均漁業従事日数 推計(日)		
		計	1	157	0.8338	131		
		漁船非使用階層	2	82	0.8338	68		
漁船使用	動力船使用	無動力船のみ	3	78	0.8338	65		
		1T未満	4	113	0.8338	94		
		1～3	5	138	0.8338	115		
		3～5	6	160	0.8338	133		
		5～10	7	176	0.8338	147		
		10～20	8	184	0.8338	153		
		20～30	9	170	0.8338	142		
		30～50	10	166	0.8338	138		
		50～100	11	206	0.8338	172		
		100～200	12	221	0.8338	184		
		200～500	13	261	0.8338	218		
		500～1,000	14	293	0.8338	244		
		1,000～3,000	15	330	0.8338	275		
		3,000T以上	16	330	0.8338	275		
				大型定置網	17	241	0.8338	201
				さけ定置網	18	134	0.8338	112
		小型定置網	19	182	0.8338	152		
		地びき網	20	88	0.8338	73		
海面養殖	魚類養殖	ぎんざけ養殖	21	287	0.8338	239		
		ぶり類養殖	22	296	0.8338	247		
		まだい養殖	23	291	0.8338	243		
		ひらめ養殖	24	292	0.8338	243		
		その他の魚類養殖	25	285	0.8338	238		
	ほたてがい養殖	26	220	0.8338	183			
	かき類養殖	27	213	0.8338	178			
	その他の貝類養殖	28	190	0.8338	158			
	くるまえび養殖	29	289	0.8338	241			
	ほや類養殖	30	204	0.8338	170			
	その他の水産動物類養殖	31	251	0.8338	209			
	こんぶ類養殖	32	197	0.8338	164			
	わかめ類養殖	33	159	0.8338	133			
	のり類養殖	34	205	0.8338	171			
	その他の海藻類養殖	35	180	0.8338	150			
	真珠養殖	36	239	0.8338	199			
	真珠母貝養殖	37	232	0.8338	193			

表 7.3-21 経営体階層別・トン数区分別動力船隻数

経営体階層	トン数区分	No	計 (隻)	1トン未満												
				1~3 (隻)	3~5 (隻)	5~10 (隻)	10~20 (隻)	20~30 (隻)	30~50 (隻)	50~100 (隻)	100~150 (隻)	150~200 (隻)	200~350 (隻)	350~500 (隻)	500~1,000 (隻)	1,000~3,000 トン以上 (隻)
動力船使用	計	1	99,062	29,122	39,775	14,727	8,446	36	81	346	202	191	155	281	3	1
	漁船非使用階層	2														
	無動力船のみ	3														
	1T未満	4	3,440													
	1~3	5	18,403	391	18,012											
	3~5	6	26,362	339	1,065	24,958										
	5~10	7	12,165	423	1,640	2,768	7,334									
	10~20	8	6,384	110	610	1,452	1,356	2,856								
	20~30	9	1,813	19	109	560	718	393	14							
	30~50	10	1,686	11	67	320	587	640	9	52						
	50~100	11	1,241	1	23	137	328	581	6	7	158					
	100~200	12	921	1	15	40	100	554	12	26	103	70				
	200~500	13	463	1	6	2	13	243	2	5	57	45	20	24		
	500~1,000	14	254	5	2	10	47	39	19	36	45	51				
	1,000~3,000	15	425	1	20	2	8	10	10	60	31	20	85	188		
	3,000T以上	16	52							1	4	20	5	18	3	1
大型定置網	17	1,387	24	168	172	351	669	2	1							
さげ定置網	18	835	9	74	111	131	509	1								
小型定置網	19	3,702	211	1,461	1,136	623	270		1							
地びき網	20	99	10	36	41	12										
魚類養殖	ざんざけ養殖	21	2,535	62	433	527	708	800	2							
	ぶり類養殖	22	1,646	66	511	533	366	170								
	まだい養殖	23	116	12	53	29	10	12								
	ひらめ養殖	24	212	7	49	65	37	54								
	その他の魚類養殖	25	635	33	233	164	136	68	1							
	ほたてがい養殖	26	3,091	15	480	1,788	741	66	1							
	かき類養殖	27	2,846	112	1,046	1,007	320	360	1							
	その他の貝類養殖	28	159	14	76	61	6	2								
	くるまえばい養殖	29	10	4	5		1									
	ほや類養殖	30	102	3	39	46	10	4								
海面養殖	その他の水産動物類養殖	31	32	1	14	13	4									
	こんぶ類養殖	32	265	9	117	102	35	2								
	わかめ類養殖	33	1,073	96	597	284	83	12	1							
	のり類養殖	34	4,800	156	875	3,093	577	99								
	その他の海藻類養殖	35	413	20	290	96	7									
	真珠養殖	36	1,339	81	911	252	81	13								
	真珠母貝養殖	37	156	24	108	19	5									

出典)2008年(第12次)漁業センサス 第1巻 海面漁業に関する統計(全国・大海区編)
漁船に関する統計 1経営体階層別統計(漁船隻数・動力船トン数規模別隻数)

表 7.3-22 経営体階層別・トン数区分別延べ漁業従事日数(2010年)

経営体階層	トン数区分	No	計 (日)	1トン未満																		
				1~3 (日)	3~5 (日)	5~10 (日)	10~20 (日)	20~30 (日)	30~50 (日)	50~100 (日)	100~150 (日)	150~200 (日)	200~350 (日)	350~500 (日)	500~1,000 (日)	1,000~3,000 (日)	3,000 トン以上 (日)					
経営体階層	トン数区分	計	14 564 360	670 977	3 953 218	5 834 521	2 365 803	1 448 693	5 709	12 610	71 715	43 045	42 493	40 110	74 364	825	275	0				
		漁船非使用階層	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
		無動力船のみ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		動力 船使用	1T未満	4	324 115	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			1~3	5	2 117 530	2 072 540	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			3~5	6	3 516 902	45 225	142 080	3 329 597	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			5~10	7	1 785 199	62 075	240 668	406 201	1 076 256	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			10~20	8	979 428	16 876	93 586	222 765	208 036	438 165	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			20~30	9	256 985	2 693	15 450	79 378	101 774	55 706	1 984	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			30~50	10	233 361	1 523	9 274	44 291	81 247	88 583	1 246	7 197	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			50~100	11	213 158	172	3 951	23 532	56 338	99 794	1 031	1 202	27 139	0	0	0	0	0	0	0	0	
			100~200	12	169 712	184	2 764	7 371	18 427	102 085	0	2 211	4 791	18 980	12 899	0	0	0	0	0	0	
			200~500	13	100 759	218	1 306	435	2 829	52 882	435	1 088	12 404	9 793	4 352	5 223	0	0	0	0	0	
		500~1,000	14	62 053	0	1 222	489	2 443	11 482	0	9 528	4 642	8 795	10 994	12 459	0	0	0	0	0		
		1,000~3,000	15	116 940	275	5 503	550	2 201	2 752	0	16 509	8 550	5 503	23 388	51 729	0	0	0	0	0		
		3,000T以上	16	14 308	0	0	0	0	0	0	275	1 101	5 503	1 376	4 953	825	275	0	0	0		
		大型定置網	大型定置網	17	278 712	4 823	33 759	34 563	70 532	134 433	402	201	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			さげ定置網	18	93 294	1 006	8 268	12 402	14 637	56 870	0	112	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			小型定置網	小型定置網	19	561 784	32 020	221 709	172 390	94 541	40 973	0	152	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				地びき網	20	7 264	0	734	2 641	3 008	880	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				きんざり養殖	21	606 627	14 837	103 617	126 111	169 425	191 440	479	0	718	0	0	0	0	0	0	0	0
				ぶり養殖	22	406 241	16 289	126 117	131 547	90 331	41 957	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				まだい養殖	23	28 146	2 912	12 860	7 036	2 426	2 912	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				ひらめ養殖	24	51 616	1 704	11 930	15 826	9 008	13 147	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				その他の魚類養殖	25	150 897	7 842	55 368	38 972	32 318	16 159	0	238	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				ほたてがい養殖	26	567 001	2 752	88 049	327 984	135 926	12 107	0	183	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		海面養殖	かき養殖	27	505 448	19 891	185 769	178 843	56 832	63 936	0	178	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			その他の貝類養殖	28	25 189	2 218	12 040	9 664	951	317	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			くるまえばい養殖	29	2 410	984	1 205	0	241	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			ほや養殖	30	17 350	510	6 634	7 824	1 701	680	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			その他の水産動物類養殖	31	6 697	209	2 930	2 721	837	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			こんぶ類養殖	32	43 529	1 478	19 218	16 754	5 749	329	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			わかめ類養殖	33	142 252	12 727	79 147	37 651	11 004	1 591	133	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			のり類養殖	34	820 459	26 665	149 563	528 683	98 626	16 922	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			その他の海藻類養殖	35	61 985	3 002	43 524	14 408	1 051	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			真珠養殖	36	266 834	16 142	181 542	50 218	16 142	2 591	0	199	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		真珠母貝養殖	37	30 177	4 643	20 892	3 675	967	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

出典)2008年(第12次)漁業センサス 第1巻 海面漁業に関する統計(全国・大海区編)
漁船に関する統計 1経営体階層別統計(漁船隻数・動力船トン数規模別隻数)

注)トン数区分別動力船隻数に平均漁業従事日数を乗じることにより、トン数区分別延べ漁業従事日数を求めた。

表 7.3-23 都道府県・大海区別、トン数区分別漁船隻数 (2010年)

トン数区分 都道府県 大海区	No	計 (隻)	1トン 未満 (隻)	1トン以上												
				1~3 (隻)	3~5 (隻)	5~10 (隻)	10~20 (隻)	20~30 (隻)	30~50 (隻)	50~ 100 (隻)	100~ 150 (隻)	150~ 200 (隻)	200~ 350 (隻)	350~ 500 (隻)	500~ 1,000 (隻)	1,000~ 3,000 (隻)
全	1	99,062	5,696	29,122	39,775	14,727	8,446	36	81	346	202	191	155	281	3	1
北海道	2	8,228	102	1,031	3,093	2,366	1,497	24	8	9	30	61	2	5		
青森	3	3,638	22	534	2,271	480	233	1	3	11	22	43	12	6		
岩手	4	2,138	62	1,138	500	209	188	1	1	13	1	1	10	14		
宮城	5	2,229	71	607	859	392	168	3	3	16	29	9	12	63		
秋田	6	543	8	139	305	44	42	1	3	1						
山形	7	313	39	156	73	17	24				2	2				
福島	8	615	20	34	284	195	42		8	5	2	8	9	8		
茨城	9	517	21	71	318	17	40		23	4	3	16	4			
千葉県	10	1,781	120	347	722	417	156	1	8	2	5	3	3			
東京都	11	604	13	136	155	189	79		1	1	1	5	20	3	1	
神奈川県	12	1,051	97	209	506	81	134		3			2	19			
新潟県	13	945	51	373	221	190	105	1			1	3				
富山県	14	418	11	77	120	86	103				7		14			
石川県	15	1,551	73	554	510	236	136	1	5	4	12	17	3			
福井県	16	1,099	82	414	351	137	94		3	15	3					
静岡県	17	2,588	314	736	588	725	144		4	14	5	1	21	36		
愛知県	18	1,788	48	358	581	382	417		2							
三重県	19	5,033	338	2,385	1,256	691	320		9	3	6	3	2	20		
京都府	20	640	69	280	177	54	59	1								
大阪府	21	855	34	229	115	424	53									
兵庫県	22	4,980	166	1,071	2,729	766	197		14	37						
和歌山県	23	2,711	231	778	730	730	233		6	2	1					
奈良県	24	553	9	144	266	53	25		37	8	3	8				
鳥取県	25	1,846	250	636	580	197	149	2	2	18	4	7	1			
徳島県	26	1,790	161	765	679	152	33									
香川県	27	3,257	279	1,167	1,168	255	387		1							
愛媛県	28	4,683	445	1,914	1,793	261	255		2	12	1					
高知県	29	1,882	155	750	443	300	225		1	7						
福岡県	30	2,452	155	914	984	194	201	4								
佐賀県	31	5,544	462	2,014	2,239	505	295		1	16	5	2	5			
熊本県	32	2,871	138	732	1,163	552	248		2	5	13	3	3	12		
鹿児島県	33	3,494	150	689	2,155	302	207		4	3			4			
沖縄県	34	2,596	147	360	1,928	123	34		2	1			1			
北海道	35	8,909	534	2,189	4,119	1,213	760		1	38	18	8	28	1		
青森	36	3,473	166	1,246	1,538	395	124		2	2						
岩手	37	3,115	124	1,111	1,426	251	169		30	2	2	1	1			
宮城	38	1,681	80	362	747	178	271		10	24	5	3	1			
秋田	39	4,561	285	1,538	1,473	721	485					1	58			
山形	40	2,090	164	954	610	247	114		1							
福島	41	4,640	73	683	1,521	1,577	706	20	2	2	16	35	1	4		
茨城	42	6,949	176	2,067	2,762	986	602	2	12	67	57	64	59	95		
千葉県	43	12,845	930	4,171	3,808	2,485	1,250	16	29	14	10	33	95	3	1	
東京都	44	11,256	730	3,630	3,841	1,855	1,046	5	69	44	11	12	13			
神奈川県	45	3,588	29	348	1,572	789	791	4	6	7	14	26	1	1		
新潟県	46	4,407	129	1,062	2,189	644	343	2	6	2	4	9	3	14		
富山県	47	6,015	515	2,118	1,959	735	483	4	24	111	27	27	12			
石川県	48	26,978	1,653	7,554	12,366	3,241	1,976	4	58	25	8	34	59			
福井県	49	22,384	1,461	7,489	9,757	2,415	1,249	4	6	1	1	1				

出典)2008年(第12次)漁業センサス 第2巻 海面漁業に関する統計(都道府県編)
I 海面漁業の生産構造及び就業構造に関する統計 8 漁船 (1)漁船隻数・動力船トン数規模別隻数

表 7.3-26 都道府県・大海区別、トン数区分別漁船隻数 (2005 年から 2010 年の増減)

都道府県 大海区	トン数区分 No	計 (隻)	1トン未満																
			1~3 (隻)	3~5 (隻)	5~10 (隻)	10~20 (隻)	20~30 (隻)	30~50 (隻)	50~100 (隻)	100~150 (隻)	150~200 (隻)	200~350 (隻)	350~500 (隻)	500~1,000 (隻)	1,000~3,000 (隻)	3,000 トン以上 (隻)			
全	1	-15863	-1615	-6984	-5678	-781	-256	-14	-24	-123	-7	-78	-172	-7	-2	-4			
北海道	2	-650	60	-201	-445	-99	85	6	3	-1	-12	-15	-8	-20	-1	0			
青森	3	-409	-110	-104	-136	-11	-14	-1	-2	-6	-40	30	-10	-4	-1	0			
岩手	4	-469	-51	-314	-26	-35	-31	0	-1	-4	0	-1	-5	-1	0	0			
宮城	5	-419	-76	-182	-78	-6	-11	-2	-3	-1	-5	-1	-10	-43	-1	0			
秋田	6	-49	5	-34	-13	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	0	-1	0	0			
山形	7	-106	-13	-89	-1	0	-1	0	0	-2	-1	2	0	-1	0	0			
福島	8	-167	-26	-28	-64	-21	-7	0	-1	-1	-4	-5	-2	-8	0	0			
茨城	9	-91	3	-31	-57	7	7	0	0	-7	-1	-5	-6	-1	0	0			
千葉	10	-279	40	-142	-154	-11	2	0	0	-10	-2	1	-1	-1	0	0			
東京	11	-128	-20	-68	-52	25	2	-2	-2	-5	0	0	-6	-1	2	-4			
神奈川	12	-57	-16	-36	-22	-2	41	0	0	-3	-2	0	-3	-13	-1	0			
新潟	13	-209	-15	-115	-50	-15	-7	-2	0	-1	-1	-2	-1	0	0	0			
富山	14	-88	-4	-14	-17	-32	-14	-1	0	0	-2	-1	-2	-1	0	0			
石川	15	-301	-34	-136	-92	-28	4	0	-3	0	-20	10	-1	-1	0	0			
福井	16	-191	-4	-72	-92	-28	9	0	0	-2	-1	0	0	-1	0	0			
静岡	17	-413	-105	-157	-86	-46	-10	0	-2	-3	-1	1	5	-8	-1	0			
愛知	18	-169	-14	-60	-62	-14	-18	0	0	0	0	0	-1	0	0	0			
三重	19	-969	-276	-430	-142	-82	-22	-1	2	-9	-2	-2	-6	-1	0	0			
京都	20	-51	-11	-40	-4	4	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	0			
大阪	21	-64	18	-21	-31	-39	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
兵庫	22	-300	-9	-192	-141	31	19	-1	-3	-3	0	0	0	-1	0	0			
和歌山	23	-703	-129	-284	-216	-56	-9	0	-1	-1	-2	0	-4	-1	0	0			
鳥取	24	-123	-9	-34	-52	-27	-4	-2	0	-1	4	-1	3	0	-1	0			
徳島	25	-382	-63	-165	-82	-33	11	0	-2	-13	-7	-2	-3	-1	0	0			
岡山	26	-223	-35	-99	-83	2	-8	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
広島	27	-402	-22	-105	-232	-4	-37	-2	0	0	0	0	0	0	0	0			
山口	28	-1061	-73	-572	-334	-23	-41	0	-1	-14	0	-2	-1	0	0	0			
徳島	29	-352	-4	-203	-91	-21	-32	0	0	-1	0	1	0	-1	0	0			
香川	30	-448	-15	-174	-187	-19	-55	4	0	0	0	-1	0	-1	0	0			
愛媛	31	-1479	-237	-824	-359	-2	-33	-1	-2	-5	-10	-3	-2	-1	0	0			
高知	32	-418	-35	-148	-165	-15	-8	-1	-2	-9	-1	1	-7	-28	0	0			
岡	33	-251	-14	-33	-222	7	11	0	0	0	1	0	-1	0	0	0			
佐賀	34	-331	43	-67	-297	5	-11	0	0	-2	0	-2	0	0	0	0			
長崎	35	-1539	-26	-489	-852	-69	-80	-2	-2	-6	4	-5	-5	-1	-1	0			
熊本	36	-594	-74	-284	-185	-35	-13	0	0	-1	-1	0	-1	0	0	0			
大分	37	-561	-32	-328	-203	10	2	-1	0	-7	-2	0	1	-1	0	0			
宮崎	38	-216	27	-57	-143	-15	-1	0	0	-7	-6	-8	-3	-3	0	0			
鹿児島	39	-690	-127	-314	-146	-106	27	-2	0	-2	0	-1	3	-14	-1	0			
沖縄	40	-511	-132	-338	-64	23	4	-2	0	0	0	-1	0	-1	0	0			
北海道	41	-244	41	-126	-222	-9	102	3	1	0	-11	-6	-6	-8	-2	-1			
太平洋	42	-1254	-165	-606	-218	-60	-56	-3	-6	-18	-49	18	-32	-57	-2	0			
太平洋	43	-2015	-391	-893	-518	-130	-5	-3	-3	-30	-7	3	-7	-28	0	0			
太平洋	44	-2328	-272	-1097	-711	-78	-51	-3	-5	-29	-22	-10	-15	-35	0	0			
北海道	45	-406	19	-75	-223	-90	-17	3	2	-1	-1	-9	-2	-12	0	0			
北海道	46	-753	-122	-305	-224	-54	-23	-4	-2	-5	-5	-2	-3	-4	0	0			
日本海	47	-1144	-121	-477	-357	-130	-7	-2	-8	-14	-28	6	-1	-4	-1	0			
日本海	48	-4310	-352	-1762	-1827	-195	-100	-6	-1	-25	4	-7	-12	-23	-2	0			
瀬戸内海	49	-3409	-252	-1643	-1378	-35	-99	1	-2	-1	1	0	-1	0	0	0			

表 7.3-27 都道府県・大海区別、トン数区分別延べ漁業従事日数 (2003年から2008年の増減)

No	計 (日)	1トンの未満																
		1~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~50	50~100	100~150	150~200	200~350	350~500	500~1,000	1,000~3,000	3,000トン以上			
延べ漁業従事日数	-5 732 657	-1 964 639	-2 199 235	-659 793	-349 945	-3 824	-6 721	-42 501	-40 317	-10 319	-31 714	-67 067	-2 290	-715	-1 320			
動力船1隻の平均漁業日数	- 30	- 28	- 30	- 34	- 35	- 32	- 28	- 36	- 47	- 44	- 49	- 48	- 36	- 330				
全 国	-5 732 657	-1 964 639	-2 199 235	-659 793	-349 945	-3 824	-6 721	-42 501	-40 317	-10 319	-31 714	-67 067	-2 290	-715	-1 320			
北 海	-358 259	-6 103	-61 973	-1 964 639	-2 199 235	-659 793	-349 945	-3 824	-6 721	-42 501	-40 317	-10 319	-31 714	-67 067	-2 290			
青 森	-179 876	-15 991	-32 081	-92 305	-18 495	-11 088	-223	-453	-1 860	-11 463	6 099	-3 676	-1 534	-312	0			
岩 手	-146 090	-8 605	-83 506	-19 626	-13 935	-13 019	-32	-213	-1 446	-47	-311	-2 036	-978	0	0			
宮 城	-139 952	-12 331	-46 921	-39 608	-14 523	-8 182	-381	-638	-824	-2 677	-665	-3 676	-16 422	-312	0			
山 形	-27 982	-2 726	-18 980	-2 371	-579	-1 051	0	-487	-355	445	0	-312	0	0	0			
福 島	-47 691	-4 120	-5 547	-19 849	-10 732	-2 924	0	-411	-425	-1 137	-1 688	-1 062	-2 878	0	0			
茨 城	-31 369	-60	-7 080	-19 634	784	40	0	-2 539	-450	-1 466	-2 641	-502	0	0	0			
千 葉	-101 971	2 873	-33 044	-48 923	-16 348	-5 073	0	-213	-2 725	-616	45	-457	-312	0	0			
東 京	-40 478	-3 114	-14 975	-13 850	-1 571	-2 365	-381	-368	-1 254	-47	-44	-2 097	-639	514	275	-1 320		
神 奈 川	-41 164	-4 482	-11 785	-19 099	-3 149	-3 762	0	-839	-521	0	-1 024	-4 963	-312	0	0			
新 潟	-64 873	-3 284	-29 351	-15 481	-9 394	-5 140	-413	0	-244	-308	-533	-457	0	0	0			
富 山	-27 910	-816	-4 463	-6 612	-9 161	-6 516	-191	0	-521	-576	-308	-1 290	0	0	0			
石 川	-99 051	-6 464	-37 889	-31 592	-13 492	-3 956	-32	-694	-145	-5 779	1 915	-457	-312	0	0			
福 井	-66 290	-2 448	-46 455	-26 812	-10 119	-1 446	0	-85	-1 031	-403	0	-312	0	0	0			
静 岡	-149 515	-21 998	-46 455	-32 876	-33 656	-7 131	0	-482	-1 238	-498	222	502	-4 210	-312	0			
知 恵 沖	-82 751	-3 074	-19 914	-28 424	-15 740	-18 386	0	-57	0	0	0	-312	0	0	0			
愛 知	-320 054	-46 623	-137 629	-62 854	-39 508	-15 801	-191	112	-2 301	-805	134	-715	-2 825	0	0			
東 京 都	-27 944	-1 134	-14 440	-6 028	-1 061	-1 868	-32	0	0	-267	0	0	0	0	0			
大 阪	-36 601	-1 753	-9 890	-8 936	-22 039	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
兵 庫	-200 333	-5 082	-61 624	-106 957	-20 060	-3 001	-191	950	-2 072	0	0	-312	0	0	0			
和 歌 山	-204 371	-23 469	-68 453	-60 122	-35 774	-10 054	0	-355	-316	-568	0	-1 233	-312	0	0			
鳥 取	-38 085	-1 474	-9 627	-17 187	-7 063	-1 706	-381	0	-388	-379	-399	529	0	-312	0			
島 根	-122 085	-14 614	-44 951	-31 928	-13 137	-7 514	-64	-425	-3 819	-2 013	-843	-974	-312	0	0			
山 梨	-92 347	-8 627	-37 765	-35 081	-4 789	-2 814	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
山 梨 県	-167 367	-9 509	-40 067	-76 116	-9 466	-21 258	-381	-28	0	0	0	0	0	0	0			
山 梨 県	-325 946	-20 503	-147 642	-112 932	-13 370	-17 442	0	-241	-3 845	-47	-617	-312	0	0	0			
山 梨 県	-117 852	-4 125	-54 389	-29 401	-14 309	-14 527	0	-28	-497	0	222	0	-312	0	0			
香 川	-151 672	-5 674	-54 253	-62 632	-10 309	-18 437	634	0	-267	0	-267	0	-312	0	0			
愛 媛	-425 245	-43 982	-191 761	-130 758	-17 594	-17 195	-191	397	-1 798	-2 842	-889	-864	-312	0	0			
愛 媛 県	-158 771	-8 089	-44 867	-64 124	-21 726	-10 375	-191	-425	-2 373	-877	134	-2 306	-9 313	0	0			
福 岡	-147 711	-5 418	-24 245	-104 019	-8 926	-5 006	0	0	-145	118	0	-198	-312	0	0			
佐 賀	-135 269	-2 675	-21 117	-110 451	-3 217	-3 469	0	-580	-47	0	0	-666	0	0	0			
長 門	-535 407	-15 932	-141 781	-274 409	-54 760	-43 263	-381	-387	-2 839	189	-1 688	-2 927	-1 609	-312	-330			
熊 本	-207 667	-14 233	-81 630	-78 932	-20 272	-7 048	0	0	-316	-355	0	-312	0	0	0			
大 分	-191 246	-7 355	-85 041	-78 746	-6 604	-5 530	-191	0	-2 793	-616	-44	259	-312	0	0			
宮 崎	-87 886	-1 963	-19 535	-47 730	-8 985	-9 737	0	0	-2 087	-2 701	-2 355	-1 073	-984	0	0			
鹿 児 島	-256 814	-24 429	-94 769	-70 084	-45 203	-11 476	-381	0	-487	-267	-974	-7 130	-312	-330	0			
沖 縄	-152 088	-22 352	-82 259	-29 649	-9 936	-3 182	-381	-28	0	-267	0	-312	0	0	0			
北 海 道 太 平 洋 北 区	-180 383	-4 094	-39 882	-84 960	-55 478	-3 746	-70	127	-73	-3 624	-3 149	-1 899	-2 688	-623	-330			
太 平 洋 北 区	-427 079	-27 273	-157 522	-121 558	-45 274	-32 746	-636	-1 446	-6 813	-15 467	1 969	-12 784	-22 315	-623	0			
太 平 洋 中 区	-735 933	-76 417	-263 802	-206 026	-109 972	-44 994	-572	-1 007	-8 358	-2 487	358	-3 791	-13 261	-109	275			
太 平 洋 南 区	-282 005	-55 068	-241 131	-78 384	-47 327	-21 131	-572	-1 063	-9 564	-7 817	-3 154	-5 218	-11 546	0	0			
北 海 道 日 本 海 北 区	-177 867	-2 008	-22 091	-86 670	-44 404	-31 332	444	198	-497	-924	-3 551	-666	-3 794	0	0			
日 本 海 北 区	-263 384	-20 140	-79 891	-105 394	-32 454	-16 817	-827	-539	-1 290	-1 492	-932	-1 073	-1 915	0	0			
日 本 海 西 区	-380 017	-28 870	-137 988	-121 988	-50 353	-18 433	-510	-2 155	-7 434	-8 574	406	-902	-1 249	-312	0			
東 シ ン 洋 海 区	-1 559 427	-87 542	-501 483	-694 648	-149 384	-90 162	-1 144	-288	-8 191	-143	-2 221	-5 382	-9 987	-623	-660			
瀬 戸 内 海 区	-1 264 372	-69 052	-480 148	-536 860	-89 090	-64 388	62	-539	-280	213	-44	0	-312	0	0			

② 漁船の燃料消費量のボトムアップ推計

漁船活動による燃料消費量 Fuel は、以下の式により求めることができる。

$$\text{Fuel} = N \times \text{SFC} \times P_m \times \text{PR} \times H \quad \text{数式 7.3-1}$$

- N : 隻数 = 延べ漁業従事日数
- SFC : 燃料消費率 225[g-fuel/kWh]
- P_m : 機関定格馬力 (kW)
- PR : 機関負荷率
- H : 活動時間 (hour)

延べ漁業従事日数は、都道府県・大海区別、トン数区別に、距岸 200 海里以内では表 7.3-25のとおり算出され、機関定格馬力は表 7.3-18のとおり、トン数区別に求められている。

機関負荷率と活動時間については、トン数グループ別に表 7.3-17に示すとおり想定しており、これらより、操業時と航行時を合わせた燃料消費量を求めると表 7.3-28に示すとおりである。

表 7.3-28 都道府県・大海区別、トン数区分別燃料消費量 (200 海里以内)

(単位 : ton/year)

都道府県	トン数区分	No	トン数区分													合計	
			1T未満	1~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~50	50~100	100~150	150~200	200~350	350~500	500~1,000		1,000~3,000
北海道	全道	1	10,058	101,303	235,919	130,930	505,826	2,678	14,309	118,637	93,002	134,948	0	0	0	0	1,347,917
北海道	道北	2	180	3,586	18,346	21,035	89,654	1,785	1,413	3,086	13,812	43,998	0	0	0	0	195,997
北海道	道東	3	39	1,858	13,470	4,267	13,954	74	530	3,772	10,129	30,381	0	0	0	0	78,474
北海道	道南	4	109	3,959	2,966	1,858	11,259	74	177	4,457	460	707	0	0	0	0	26,027
北海道	道北	5	125	2,111	5,095	3,485	10,061	0	530	5,456	13,352	6,359	0	0	0	0	46,605
北海道	道東	6	14	484	1,809	391	2,515	74	530	343	0	0	0	0	0	0	6,160
北海道	道南	7	69	543	433	151	1,437	0	0	0	921	1,413	0	0	0	0	4,967
北海道	道北	8	35	1,118	1,885	1,734	2,515	0	1,413	1,714	921	5,652	0	0	0	0	15,788
北海道	道東	9	37	247	1,886	151	2,396	0	0	7,886	1,842	2,120	0	0	0	0	16,564
北海道	道南	10	212	1,207	4,282	3,707	9,343	0	177	2,743	921	3,533	0	0	0	0	26,125
北海道	道北	11	23	473	919	1,680	4,731	0	0	343	460	707	0	0	0	0	9,337
北海道	道東	12	171	727	3,001	720	8,025	0	0	1,029	0	0	0	0	0	0	13,674
北海道	道南	13	90	1,298	1,311	1,689	6,288	74	0	0	460	0	0	0	0	0	11,211
北海道	道北	14	19	268	712	765	6,169	0	0	0	0	4,946	0	0	0	0	12,878
北海道	道東	15	129	1,927	3,025	2,098	8,145	74	883	1,372	5,525	12,011	0	0	0	0	35,189
北海道	道南	16	145	1,440	2,082	1,218	5,630	0	530	5,143	1,381	0	0	0	0	0	17,569
北海道	道北	17	554	2,560	3,488	6,446	8,624	0	707	4,800	2,302	707	0	0	0	0	30,188
北海道	道東	18	85	1,245	3,446	3,396	24,974	0	353	0	0	0	0	0	0	0	33,500
北海道	道南	19	597	8,296	7,450	6,143	19,165	0	1,590	1,029	2,762	2,120	0	0	0	0	49,152
北海道	道北	20	122	974	1,050	480	3,533	74	0	0	0	0	0	0	0	0	6,234
北海道	道東	21	60	797	682	3,770	3,174	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,482
北海道	道南	22	293	3,726	16,187	6,810	11,798	0	2,473	12,687	0	0	0	0	0	0	53,973
北海道	道北	23	408	2,706	4,330	6,490	13,954	0	1,060	686	460	0	0	0	0	0	30,095
北海道	道東	24	16	501	1,578	471	1,497	0	0	12,687	3,683	2,120	0	0	0	0	22,552
北海道	道南	25	441	2,212	3,440	1,751	8,924	149	353	6,172	1,842	4,946	0	0	0	0	30,230
北海道	道北	26	284	2,661	4,027	1,351	1,976	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,300
北海道	道東	27	493	4,059	6,928	2,267	23,177	0	177	0	0	0	0	0	0	0	37,101
北海道	道南	28	786	6,658	10,635	2,320	15,272	0	353	4,115	460	0	0	0	0	0	40,599
北海道	道北	29	274	2,609	2,628	2,667	13,475	0	177	2,400	0	707	0	0	0	0	24,936
北海道	道東	30	274	3,179	5,836	1,725	12,038	298	0	0	0	0	0	0	0	0	23,350
北海道	道南	31	816	7,006	13,280	4,490	17,667	0	177	5,486	2,302	1,413	0	0	0	0	52,637
北海道	道北	32	244	2,546	6,898	4,908	14,853	0	353	1,714	5,985	2,120	0	0	0	0	39,621
北海道	道東	33	265	2,327	12,782	2,685	12,397	0	0	1,372	1,381	0	0	0	0	0	33,209
北海道	道南	34	260	1,252	11,436	1,094	2,036	0	0	686	460	0	0	0	0	0	17,223
北海道	道北	35	943	7,615	24,431	10,784	45,516	0	177	13,029	8,287	5,652	0	0	0	0	116,435
北海道	道東	36	293	4,334	9,122	3,512	7,426	0	0	686	921	0	0	0	0	0	26,294
北海道	道南	37	219	3,865	8,458	2,232	10,121	0	0	10,286	921	707	0	0	0	0	36,808
北海道	道北	38	141	1,259	4,431	1,583	16,230	0	0	3,429	11,050	3,533	0	0	0	0	41,655
北海道	道東	39	503	5,350	8,737	6,410	29,046	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50,047
北海道	道南	40	290	3,319	3,618	2,196	6,827	0	177	0	0	0	0	0	0	0	16,426
北海道	道北	41	129	2,376	9,022	14,020	42,282	1,488	353	686	7,366	24,729	0	0	0	0	102,451
北海道	道東	42	311	7,190	16,382	8,766	36,053	149	2,120	22,973	26,243	45,218	0	0	0	0	165,406
北海道	道南	43	1,642	14,509	22,587	22,093	74,862	0	2,827	9,944	6,446	7,065	0	0	0	0	161,974
北海道	道北	44	1,289	12,627	22,782	16,492	62,644	0	883	23,659	20,258	7,772	0	0	0	0	168,407
北海道	道東	45	51	1,211	9,324	7,015	47,373	298	1,060	2,400	6,446	18,370	0	0	0	0	93,546
北海道	道南	46	228	3,694	12,984	5,725	20,542	149	1,060	686	1,842	6,359	0	0	0	0	53,268
北海道	道北	47	909	7,368	11,620	6,535	28,927	298	4,240	38,060	12,431	19,076	0	0	0	0	129,462
北海道	道東	48	2,919	26,277	73,347	28,814	118,341	0	707	19,887	11,510	5,652	0	0	0	0	287,455
北海道	道南	49	2,580	26,051	57,872	21,471	74,802	298	1,060	343	460	707	0	0	0	0	185,643

③ 漁船の燃料消費量のトップダウン補正と油種別消費量

平成 22 年度では、軽油と A 重油の合計値に対してトップダウン補正していたが、平成 23 年度事業では、軽油は 0～10 トンの漁船で全て消費されるものとし、軽油と A 重油のそれぞれでトップダウン補正を行うものとした。

表 7.3-29 は、2010 年のエネルギーバランス表の水産業における油種別燃料消費量 (重量ベース) と、表 7.3-28 で求めたボトムアップで推計した総燃料消費量 (重量ベース) を示し、トップダウンのための補正係数を示したものである。

表 7.3-28 の値に補正係数を乗じることにより、表 7.3-30 に示すとおり、燃料消費量を都道府県・大海区別、トン数区分別にトップダウン補正した値を求めた。

表 7.3-29 燃料消費量のトップダウン補正

	軽油	A 重油		合計
油種別熱量[TJ]	21,121	56,125		77,246
単位重量あたりの熱量[MJ/kg]	45.00	45.12		
油種別重量[ton]	469,355	1,243,916 [※]		1,713,271
		769,806 (200NM 内)	474,110 (200NM 外)	
漁業センサス燃料消費量[ton]	478,211	869,400	558,674	1,906,285
補正係数 (重量ベース)	0.9815	0.8854	0.8486	

※ 平成 23 年度事業で使用した水産庁提供資料から、200NM 以内と 200NM 以遠の消費量を分配した。

表 7.3-30 補正後の都道府県・大海区別、トン数区分別燃料消費量

(単位：ton/year)

都道府県	トン数区分	No	トン数区分													合計		
			1T未満	1～3	3～5	5～10	10～20	20～30	30～50	50～100	100～150	150～200	200～350	350～500	500～1,000		1,000～3,000	3,000T以上
北海道	国	1	9 872	99 427	231 551	128 505	447 881	2 371	12 670	105 047	82 348	119 489	146 488	320 881	4 608	2 152	0	1 713 271
北海道	道	2	177	3 520	18 006	20 045	79 384	1 581	1 251	2 732	12 230	38 161	1 890	5 710	0	0	0	185 288
北海道	支	3	38	1 823	13 221	4 188	12 356	66	469	3 340	8 969	11 339	6 852	0	0	0	89 561	
北海道	支	4	107	3 885	2 911	1 824	9 989	66	156	3 947	408	6 26	9 450	15 987	0	0	49 336	
北海道	支	5	123	2 072	5 001	3 421	8 909	0	469	4 838	11 822	5 630	11 339	71 941	0	0	125 586	
北海道	支	6	14	475	1 776	384	2 227	66	469	304	0	0	0	0	0	0	5 714	
北海道	支	7	68	533	425	148	1 273	0	0	815	1 251	0	0	0	0	0	4 513	
北海道	支	8	35	116	1 653	1 702	2 227	0	1 251	1 518	815	5 005	8 505	9 135	0	0	31 962	
北海道	支	9	36	242	1 851	148	2 121	0	0	6 983	1 631	1 877	15 119	4 568	0	0	34 577	
北海道	支	10	208	1 185	4 203	3 639	8 272	0	156	2 429	815	3 128	2 835	0	0	0	26 870	
北海道	支	11	23	464	902	1 649	4 189	0	0	304	408	626	4 725	22 839	4 608	2 152	42 888	
北海道	支	12	168	714	2 946	707	7 106	0	911	0	0	0	1 890	21 697	0	0	36 137	
北海道	支	13	88	1 273	1 287	1 658	5 568	66	0	408	0	2 835	0	0	0	0	13 183	
北海道	支	14	19	263	699	750	5 462	0	0	0	4 379	0	15 987	0	0	0	27 559	
北海道	支	15	127	1 891	2 969	2 059	7 212	66	782	1 214	4 892	10 635	2 835	0	0	0	34 682	
北海道	支	16	142	1 413	2 043	1 195	4 985	0	469	4 554	1 223	0	0	0	0	0	16 025	
北海道	支	17	544	2 513	3 423	6 326	7 636	0	626	4 250	2 038	626	19 844	41 109	0	0	88 936	
北海道	支	18	83	1 222	3 382	3 333	22 113	0	313	0	0	0	0	0	0	0	30 447	
北海道	支	19	586	8 143	7 312	6 030	16 989	0	1 408	911	2 446	1 877	1 890	22 839	0	0	70 409	
北海道	支	20	120	956	1 030	471	3 129	66	0	0	0	0	0	0	0	0	5 772	
北海道	支	21	59	782	669	3 700	2 811	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8 021	
北海道	支	22	288	3 657	15 887	6 684	10 447	0	2 190	11 233	0	0	0	0	0	0	50 385	
北海道	支	23	400	2 656	4 250	6 370	12 356	0	939	607	408	0	0	0	0	0	27 985	
北海道	支	24	16	482	1 549	462	1 326	0	0	11 233	3 261	1 877	7 560	0	0	0	27 775	
北海道	支	25	433	2 171	3 376	1 719	7 901	132	313	5 465	1 631	4 379	945	0	0	0	28 466	
北海道	支	26	279	2 612	3 953	1 326	1 750	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9 920	
北海道	支	27	484	3 984	6 800	2 225	20 522	0	156	0	0	0	0	0	0	0	34 171	
北海道	支	28	771	6 535	10 438	2 277	13 522	0	313	3 643	408	0	0	0	0	0	37 907	
北海道	支	29	269	2 561	2 579	2 618	11 931	0	156	2 125	0	626	0	0	0	0	22 865	
北海道	支	30	269	3 121	5 728	1 693	10 659	263	0	0	0	0	0	0	0	0	21 733	
北海道	支	31	801	6 876	13 034	4 407	15 643	0	156	4 858	2 038	1 251	4 725	0	0	0	53 790	
北海道	支	32	239	2 499	6 770	4 817	13 151	0	313	1 518	5 300	1 877	2 835	13 703	0	0	53 022	
北海道	支	33	260	2 284	12 545	2 635	10 977	0	0	1 214	1 223	0	3 780	0	0	0	34 919	
北海道	支	34	255	1 229	11 224	1 073	1 803	0	0	607	408	0	945	0	0	0	17 544	
北海道	支	35	926	7 474	23 979	10 584	40 302	0	156	11 537	7 338	5 005	26 459	1 142	0	0	134 901	
北海道	支	36	288	4 254	8 953	3 447	6 576	0	0	607	815	0	0	0	0	0	24 940	
北海道	支	37	215	3 793	8 301	2 190	8 962	0	0	9 108	815	626	945	0	0	0	34 956	
北海道	支	38	139	1 236	4 349	1 553	14 371	0	0	3 036	9 784	3 128	2 835	1 142	0	0	41 572	
北海道	支	39	494	5 251	8 575	6 291	25 719	0	0	0	0	945	66 232	0	0	0	113 507	
北海道	支	40	284	3 257	3 551	2 155	6 045	0	156	0	0	0	0	0	0	0	15 449	
北海道	支	41	127	2 332	8 855	13 761	37 438	1 317	313	607	6 523	21 896	945	4 568	0	0	98 680	
北海道	支	42	305	7 057	16 079	8 604	31 923	132	1 877	20 341	23 237	40 038	55 752	108 483	0	0	313 829	
北海道	支	43	1 612	14 240	22 168	21 684	66 286	0	2 503	8 804	5 707	6 256	31 184	108 483	4 608	2 152	295 688	
北海道	支	44	1 265	12 393	22 363	16 186	55 468	0	782	20 949	17 937	6 882	11 339	14 845	0	0	180 408	
北海道	支	45	50	1 188	9 151	6 885	41 946	263	939	2 125	5 707	16 265	945	1 142	0	0	86 607	
北海道	支	46	224	3 626	12 743	5 619	18 189	132	939	607	1 631	5 830	2 835	15 987	0	0	68 161	
北海道	支	47	893	7 231	11 404	6 413	25 613	263	3 754	33 700	11 007	16 891	11 339	0	0	0	128 509	
北海道	支	48	2 865	25 790	71 989	28 280	104 785	0	626	17 609	10 192	5 005	32 128	67 374	0	0	366 643	
北海道	支	49	2 532	25 569	56 800	21 073	66 233	263	939	304	408	626	0	0	0	0	174 746	

(3) 地域別の燃料消費量及び排出量

軽油及びA重油の200海里以内における消費量とSO₂、NO_x、及びPMの排出量を都道府県別に求めると表7.3-31に示すとおりとなる。

表 7.3-31 都道府県別燃料消費量及び排出量

(単位：ton/year)

都道府県	2010年					2005年				
	軽油	A重油	SO ₂	NO _x	PM	軽油	A重油	SO ₂	NO _x	PM
北海道	42,348	135,340	1,383	11,430	409	57,207	153,732	1,812	14,063	508
青森	19,270	52,100	533	4,618	161	25,495	64,647	762	6,009	215
岩手	8,727	15,172	155	1,545	51	12,747	24,382	288	2,475	85
宮城	10,617	31,688	324	2,734	97	14,634	43,271	510	3,860	141
秋田	2,648	3,066	31	371	11	3,496	5,221	62	581	19
山形	1,174	3,339	34	291	10	1,854	4,318	51	411	15
福島	3,506	10,817	111	926	33	5,181	14,838	175	1,335	49
茨城	2,278	12,611	129	960	36	3,260	19,561	230	1,521	60
千葉	9,234	14,801	151	1,557	50	13,117	22,231	263	2,357	80
東京	3,038	5,526	57	553	18	4,180	9,450	111	909	32
神奈川	4,534	8,017	82	809	27	5,945	10,301	122	1,083	37
新潟	4,306	6,042	62	669	21	6,345	10,475	124	1,121	38
富山	1,731	9,841	101	742	28	2,669	11,903	140	971	37
石川	7,046	24,801	253	2,055	74	10,288	32,976	389	2,884	106
福井	4,794	11,231	115	1,036	36	7,179	15,934	188	1,541	54
静岡	12,806	15,176	155	1,820	56	17,790	22,696	269	2,699	87
愛知	8,021	22,426	229	1,951	69	10,767	31,956	377	2,848	104
三重	22,070	23,611	242	2,969	90	31,493	36,283	430	4,518	143
京都	2,577	3,195	33	374	12	3,351	4,570	54	528	17
大阪	5,210	2,811	29	525	14	7,128	3,190	38	688	18
兵庫	26,515	23,870	245	3,290	96	34,163	32,750	389	4,461	136
和歌山	13,676	14,309	147	1,817	55	20,485	21,924	260	2,827	88
鳥取	2,518	17,697	181	1,303	50	3,927	21,261	250	1,679	65
島根	7,700	19,821	203	1,778	62	11,253	33,860	399	3,008	110
岡山	8,170	1,750	18	655	15	11,123	2,972	36	940	22
広島	13,492	20,679	212	2,205	71	18,806	31,129	368	3,329	112
山口	20,021	17,886	183	2,469	72	29,846	33,177	393	4,202	132
徳島	8,026	14,839	152	1,475	49	11,633	22,080	261	2,248	77
香川	10,810	10,922	112	1,410	42	15,619	18,835	223	2,297	73
愛媛	25,118	23,947	246	3,196	94	37,489	42,854	508	5,356	169
高知	14,325	22,158	227	2,364	76	19,695	33,621	397	3,554	120
福岡	17,725	13,414	138	2,031	57	23,501	16,959	202	2,697	78
佐賀	13,781	2,818	29	1,098	25	19,219	5,447	66	1,644	40
長崎	42,962	64,338	659	6,953	223	61,875	91,006	1,076	10,192	336
熊本	16,942	7,998	82	1,636	42	23,920	12,843	154	2,451	67
大分	14,500	19,511	200	2,210	69	20,647	29,708	351	3,357	110
宮崎	7,276	30,319	310	2,417	89	10,329	47,138	555	3,831	147
鹿児島	20,611	25,719	263	2,998	93	29,179	34,468	408	4,243	135
沖縄	9,248	6,202	64	1,008	28	13,304	8,639	103	1,463	41
合計	469,355	769,806	7,879	80,248	2,610	660,145	1,082,608	12,794	116,184	3,902

(4) 2010年と2005年の比較

2010年と2005年で排出量等を比較すると表 7.3-32 に示すとおりとなる。また、漁船のトン数区分別燃料消費量推計値を、2005年と2010年のそれぞれで図 7.3-10 と図 7.3-11 に示す。

表 7.3-32 2010年と2005年の排出量等

項目		2010年	2005年	備考	
漁業活動量	登録隻数	0~10 トン	89,320	104,378	漁業センサス ※2005年は第11次(2003年)、2010年は第12次(2008年)の調査結果を活用
		10~30 トン	8,482	8,752	
		30~150 トン	629	894	
		150 トン~	631	901	
	延べ漁業 従事日数	0~10 トン	12,824,519	18,000,445	
		10~30 トン	1,454,402	1,808,171	
		30~150 トン	127,370	216,909	
		150 トン~	158,068	271,492	
	1隻あたり 漁業従事日 数	0~10 トン	144	172	
		10~30 トン	171	207	
		30~150 トン	202	243	
		150 トン~	251	301	
漁船活動 パターン	航行速力 /操業速力 (ノット)	0~10 トン	12.0/0.0		
		10~30 トン	15.0/4.5		
		30~150 トン	12.0/3.4		
		150 トン~	12.0/4.0		
	航行時間 /操業時間 (hour)	0~10 トン	2.0/4.0		
		10~30 トン	4.0/8.0		
		30~150 トン	5.0/14.0		
		150 トン~	11.8/12.0		
	航行時負荷 率/操業時 負荷率 (%)	0~10 トン	5/85		
		10~30 トン	62/85		
		30~150 トン	85/85		
		150 トン~	85/85		
航行範囲 /操業範囲 (NM)	0~10 トン	0-20/0-12			
	10~30 トン	0-30/12-48			
	30~150 トン	0-60/12-108			
	150 トン~	0-141/93-189			
補正係数	軽油	0.9815	1.0017		
	A重油	0.8854	1.0046		
排出係数	SFC [g/kWh]	225			
	硫黄分濃度	A重油 軽油	2.17% 0.001%		2.53% 0.005%
Tier1 比率	10-19GT	16.1%	0.0%	水産庁資料 H23年度事業報告書	
	20GT以上	8.7%	0.0%		
燃料消費量 (ton/year)	軽油	469,355	660,145	エネルギー バランス表	
	A重油	769,806	1,082,608		
	計	1,713,271	2,409,511		
排出量 (ton/year)	SO ₂ (200海里内)	7,879	12,794		
	NO _x (200海里内)	80,248	116,184		
	PM(200海里内)	2,610	3,902		

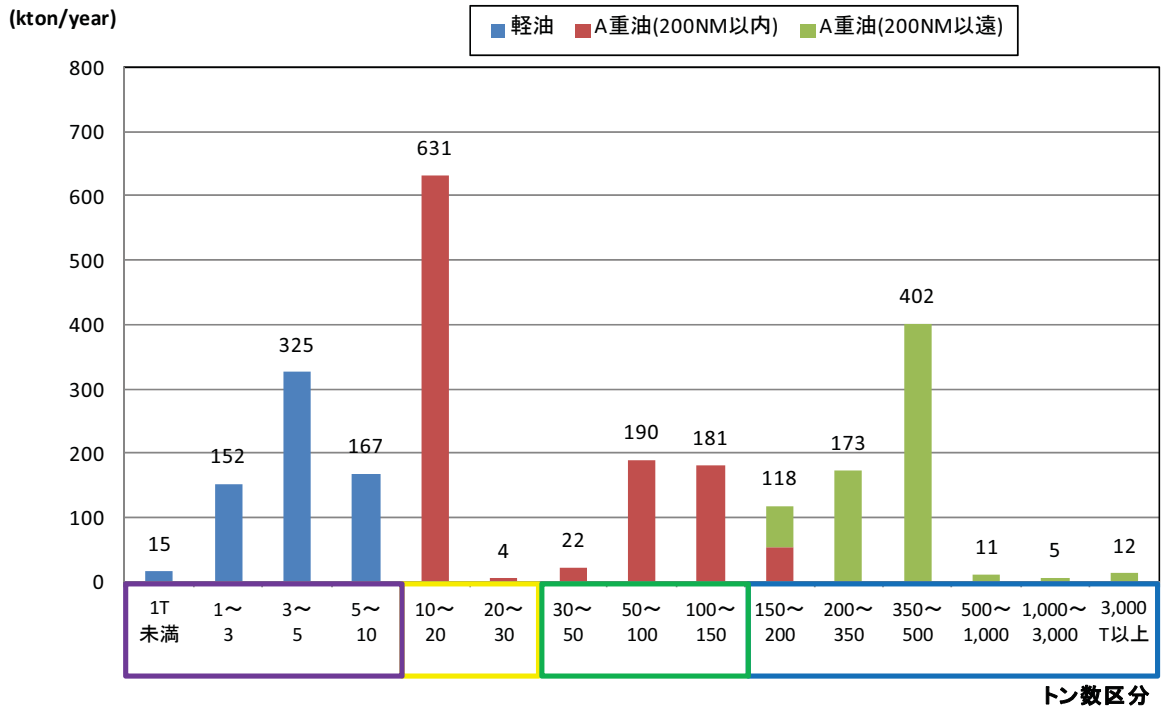


図 7.3-10 漁船のトン数区分別燃料消費量 (2005 年)

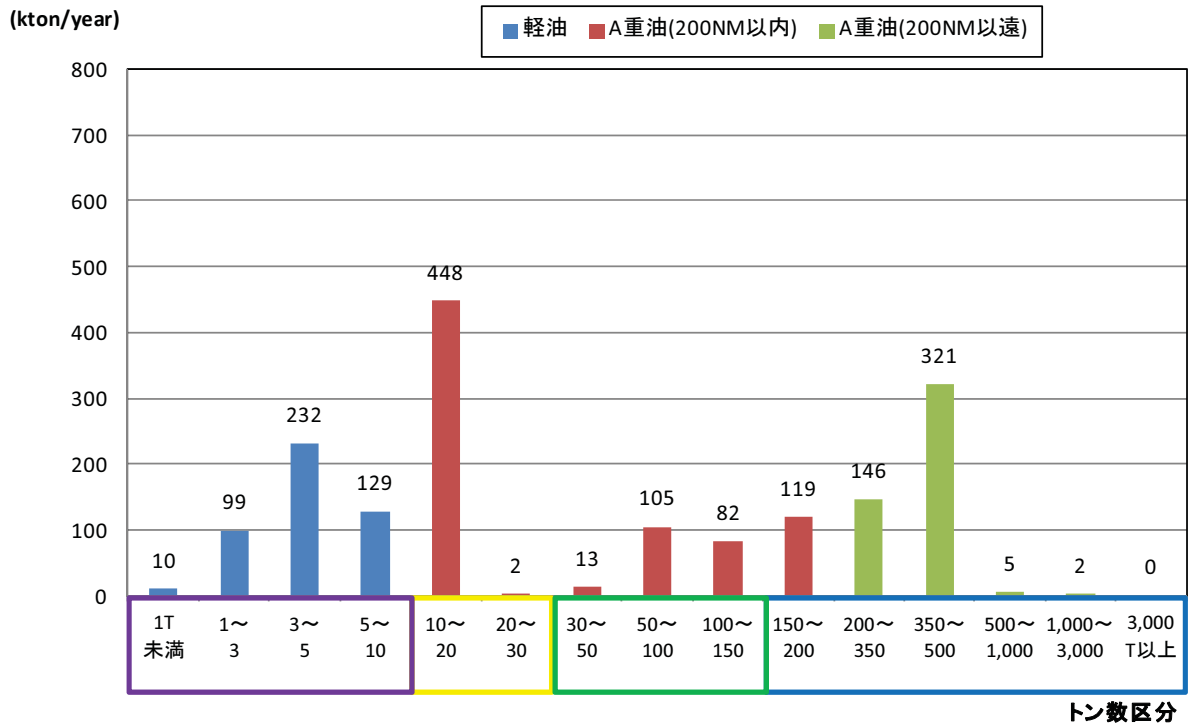


図 7.3-11 漁船のトン数区分別燃料消費量 (2010 年)

7.4 NMVOCs

7.4.1 非燃焼起源 NMVOCs 総排出量の算出

NO_x と NMVOCs から生成されるオゾンの生成量を正確に予測するため、燃料起源の NMVOCs の排出量が必要となることから、平成 23 年度事業において船舶からの NMVOCs の排出量を算出した。

対象としたのは、原油タンカー、ガソリンを輸送するプロダクトタンカー及びケミカルタンカーの 3 種とし、これらの船舶のカーゴオペレーションから発生する NMVOCs を、取扱貨物量 1 トンあたりの排出量から算出した。

今年度事業においては、対象年を平成 22 年とし、平成 23 年度と同じ手順に則り、まず港湾統計(年報)の「輸出貨物品種別仕出国別表」及び「移出貨物品種別仕出国別表」から NMVOCs が含まれる品目の「原油」、「石油製品」及び「化学薬品」について、各港湾(甲種港湾を対象)の輸出及び移出量を調査することにより、NMVOCs 排出総量を算出した。

(1) ガソリン輸送量の算出方法

港湾統計の「石油製品」には、ガソリン、ナフサ、灯油、軽油等のいわゆる白油のほか潤滑油が含まれている。NMVOCs の排出が想定されるのはガソリンであり、石油製品中に含まれるガソリンの重量割合を求め、これを石油製品の取扱量全体に乗じることにより、各港におけるガソリンの移出量及び輸出量を算出した。

平成 22 年の資源エネルギー統計年報から、各石油製品の国内向販売量と輸出量を求めると表 7.4-1のとおりであり、これを重量に換算すると表 7.4-2のとおりである。

これによると、国内向販売量の 26.2%、輸出量の 3.5%の重量比率がガソリンの輸送量と考えられ、港湾統計の移出量と輸出量にこれらに乗じることによりガソリンの輸送量を算出する。

表 7.4-1 平成 22 年石油製品油種別国内向販売量及び輸出力

(単位 : kl)

	ガソリン	ナフサ	ジェット 燃料	灯油	軽油	潤滑油	合計	ガソリン 比率
国内向 販売量	58,367,886	47,384,682	5,432,229	20,239,708	33,057,079	1,756,400	166,237,984	35.1%
輸出力	2,273,461	0	8,588,029	217,725	10,847,224	753,598	22,680,037	10.0%
合計	60,641,347	47,384,682	14,020,258	20,457,433	43,904,303	2,509,998	188,918,021	32.1%

出典：平成 22 年資源エネルギー統計年報

表 7.4-2 平成 22 年石油製品油種別国内向販売量及び輸出力の重量換算値

(単位 : kg)

	ガソリン	ナフサ	ジェット 燃料	灯油	軽油	潤滑油	合計	ガソリン 比率
比重*	0.745	0.70	0.78	0.79	0.82	0.885		
国内向 販売量	43,484,075	33,169,277	4,237,139	15,989,369	27,106,805	1,554,414	125,541,079	34.6%
輸出力	1,693,728	0	6,698,663	172,003	8,894,724	666,934	18,126,052	9.3%
合計	45,177,804	33,169,277	10,935,801	16,161,372	36,001,528	2,221,348	143,667,131	31.4%

* 参考) 石油連盟ホームページの統計情報「換算係数一覧」

(2) ケミカル輸送量の算出

別途行われたアンケート調査結果より、内航ケミカルタンカーによる液体貨物輸送量は、表 7.4-3 に示すとおり 2003 年実績で総量 14,510,803 ton であった。

一方、同じ年次の平成 15 年港湾統計(年報)によると、甲種港湾及び乙種港湾を合わせた化学薬品の移出量は 24,737,679 ton であることから、重量割合 58.7%の液体貨物が NMVOCs 排出の対象となる。さらに NMVOCs の発生が予想される品目として、リード蒸気圧 20kPa 以上の物質はベンゼン、エタノール、トルエン、ジクロロエタン、アセトンの 5 品目であり、それぞれ表 7.4-3 に示す輸送量比率から各港湾における移出及び輸送量が推計できる。

表 7.4-3 ケミカルタンカー輸送量の物質別内訳 (2003 年 1~12 月)

No.	品名	輸送量		航海数		NMVOCs の発生が 予想される物質*
1	キシレン	2,511,415	17.3%	2,547		×
2	ベンゼン	1,779,155	12.3%	2,093		○
3	スチレン	1,321,313	9.1%	1,511		×
4	エタノール	720,274	5.0%	1,255		○
5	コールタール	663,249	4.6%	737		×
6	トルエン	616,006	4.2%	1,084		○
7	シクロヘキサノン	504,487	3.5%	725		△
8	クレオソート	434,040	3.0%	859		×
9	アクリロノトル	363,449	2.5%	746		△
10	ブタノール	283,676	2.0%	421		△
	上位 10 品目	9,197,064	63.4%	11,978	53.3%	
11	メタクリル酸メチル	282,951	1.9%	633		△
12	酢酸	225,654	1.6%	367		×
13	ジクロロエタン	221,656	1.5%	389		○
14	アセトン	208,325	1.4%	266		○
15	エチレングリコール	207,630	1.4%	380		×
16	酢酸ビニル	191,730	1.3%	376		×
17	水酸化ナトリウム溶液	178,692	1.2%	338		×
18	フェノール	164,450	1.1%	122		×
19	エタノール	158,033	1.1%	446		△
20	クメン	151,192	1.0%	205		×
	上位 11~20 品目	1,990,313	13.7%	3,522	15.7%	
	その他 141 品目	2,256,897	15.6%	4,987	22.2%	
	品目コードにないもの	1,066,529	7.3%	1,973	8.8%	
	調査回答合計	14,510,803	100.0%	22,460	100.0%	

2004 年 3 月、ケミカル輸送実態調査より作成

* NMVOCs の発生が予想される物質：○はリード蒸気圧又は 37.8℃における蒸気圧が 20kPa 以上、△は 20kPa 以下、×は水溶液又は蒸気圧が 1 以下のもの。

(3) 排出係数の設定

原油、ガソリン及びケミカルの荷役起源 NMVOCs 排出量を求めるため、「平成 17 年度 船舶からの揮発性有機化合物 (VOC) の排出影響に関する調査報告書」等を活用し、貨物輸送量あたりの VOC 排出量 (排出係数) を表 7.4-4 のとおり設定した。

原油については vapor recovery が行われている喜入港と、それ以外の港湾のそれぞれで原油起源の VOC を算出するための排出係数を設定し、ガスフリー作業が行われているガソリンについては荷役時とガスフリー時のそれぞれで排出係数を設定した。ケミカルについては、NMVOCs の発生が想定される品目を対象 (リード蒸気圧 20 kPa 以上) に、過年度調査結果から排出係数を設定した。

なお、原油の排出係数は IMO 2nd Study における設定値 (0.124) に対して大きな乖離はない。

表 7.4-4 船舶からの NMVOCs 排出係数

NMVOCs の内訳	NMVOCs 排出係数 (kg-VOC/ton-貨物輸送量)		備考
原油荷役起源の NMVOCs	vapor recovery あり	0.03	喜入港では vapor recovery が行われている。
	vapor recovery なし	0.14	
ガソリン荷役起源の NMVOC	荷役時	0.12	
	ガスフリー時	0.14	
ケミカル荷役起源の NMVOCs	ベンゼン	0.011	
	メタノール	0.006	
	トルエン	0.004	
	ジクロロエタン	0.016	
	アセトン	0.023	

出典：平成 17 年度 船舶からの揮発性有機化合物 (VOC) の排出影響に関する調査報告書

(4) NMVOCs 総排出量の算出

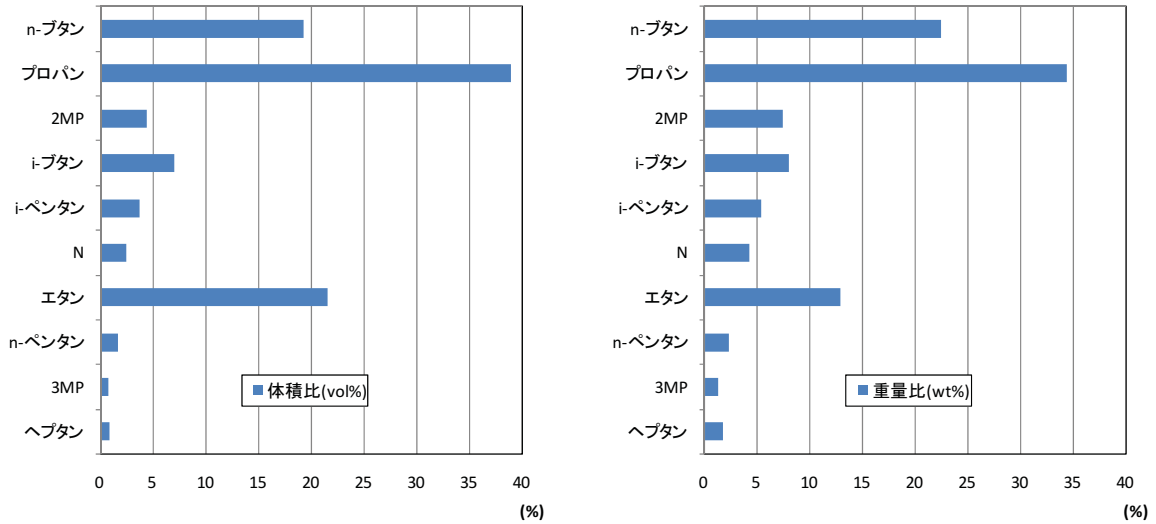
以上より、NMVOCs 総排出量を求めると表 7.4-5 のとおりである。

表 7.4-5 NMVOCs 排出総量 (2010 年)

	2010 年輸送量 [ton/year]		排出係数 [kg-VOC/ton-輸送量]	NMVOCs 排出量 [ton/year]		備考
	移出	輸出 合計		移出	輸出 合計	
原油						
喜入港	26,978,321	115,337	0.03 *vapor recovery あり	809	3	喜入港においては "vapor recovery あり" とし、それ以外の港は "vapor recovery なし" とした。
喜入港以外	3,754,513	188,971	0.14 *vapor recovery なし	526	26	
合計	30,732,834	304,308		1,335	30	
石油製品						資源エネルギー統計年報より、石油製品 (白油、潤滑油) 中、ガソリンの占める割合を算出してガソリン量を求めた。
ガソリン比率	70,048,447	14,353,004				
	34.6%	9.3%				
ガソリン	24,262,910	1,341,169	0.12 *荷役時	2,912	161	化学薬品のうち、NMVOCs 対象品目の割合を、2003 年のケミカルタンカー輸送実績と平成 15 年の化学薬品移出量の比率から求めた。
合計	20,040,897	17,496,804	0.14 *ガスフリー時	3,397	188	
	14,510,803	25,604,079		6,308	349	
化学薬品						さらに、2003 年のケミカル輸送実績による内訳表から、品目別の輸送量比率を求め、これを対象品目の化学薬品移出/輸送量に乘じて算出した。
2003 年ケミカル輸送実績 : A	20,040,897	17,496,804				化学薬品のうち、NMVOCs 対象品目の割合を、2003 年のケミカルタンカー輸送実績と平成 15 年の化学薬品移出量の比率から求めた。
平成 15 年甲・乙種港湾計 : B	14,510,803	37,537,701				
A/B	24,737,679	14,507,790				
対象品目輸送総量	11,755,731	10,263,399				
ベンゼン (12.3 %)	1,441,358	1,258,385	0.011	16	14	
エタノール (5.0 %)	583,520	509,445	0.006	4	3	
トルエン (4.2 %)	499,049	435,697	0.004	2	2	
ジクロロエタン (1.5 %)	179,572	156,776	0.016	3	3	
アセトン (1.4 %)	168,772	147,347	0.023	4	3	
合計	2,872,271	2,507,650		28	25	
		5,379,921			53	

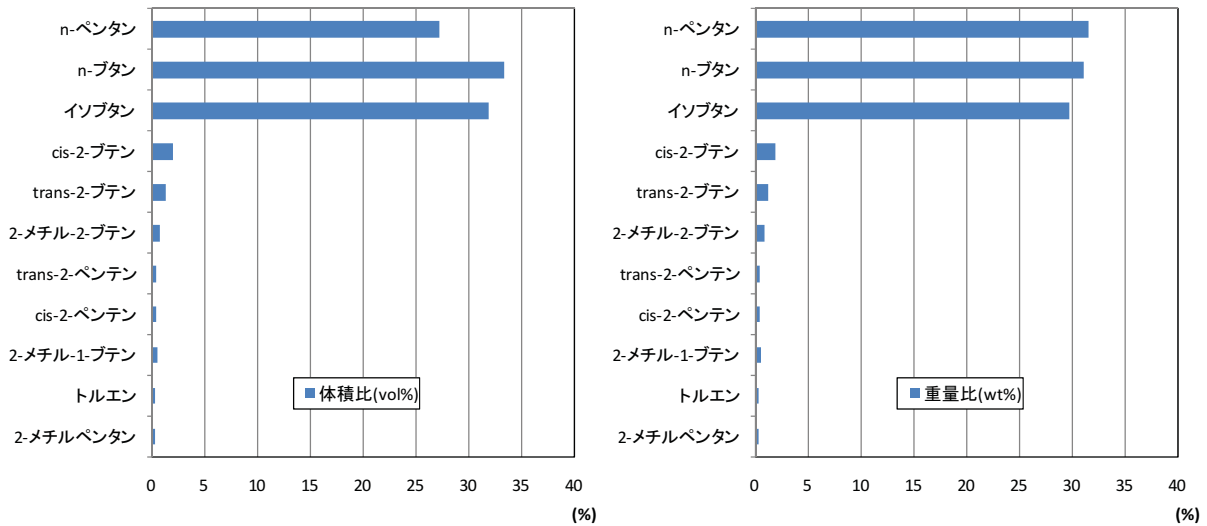
(5) 原油及びガソリンの NMVOCs 構成

原油及びガソリンの荷役に伴い発生する NMVOCs の構成については、それぞれ図 7.4-1 と図 7.4-2 に示すとおりである。



出典：平成 17 年度 船舶からの揮発性有機化合物 (VOC) の排出影響に関する調査報告書

図 7.4-1 原油荷役時の NMVOCs 構成物質



出典：平成 17 年度 船舶からの揮発性有機化合物 (VOC) の排出影響に関する調査報告書

図 7.4-2 ガソリン荷役時の NMVOCs 構成物質

7.4.2 非燃焼起源 NMVOCs 発生源データの作成

(1) 地理的配分

地理的配分については、各港湾内における係留岸壁を含む 3 次メッシュを選択し、同メッシュ内に港湾毎に均等配分するものとした。各対象港湾内における 3 次メッシュは、平成 22 年度事業において、商船係留時の活動量データ作成時に用いたデータを使用した。このデータは、各港湾区域内に含まれる海岸線を含むメッシュを選択したものであり、特定重要港湾については、外航・内航別、船種別、船型別に、より詳細に 3 次メッシュを設定したものである。

なお、東京湾内の主要港湾（東京港、川崎港、横浜港、千葉港、木更津港、横須賀港の 5 港）については、平成 19 年度 PM 影響調査で使用した停泊船舶の活動量データに基づくものである。

(2) 時間プロファイルの設定

平成 23 年度で作成した時間プロファイルを設定した。すなわち、停泊時の船舶から排出される NMVOCs の時間帯別排出割合は、停泊時の時間帯別燃料消費量に従うものとし、ガソリンを取り扱う船舶のガスフリー時に発生する NMVOCs は、停泊時から 3 時間後に排出されるものとした。また、移出貨物の NMVOCs は内航船から、輸出貨物の NMVOCs は外航船から排出されるものとし、原油 VOC は 1,000GT 以上の船舶から、ガソリン NMVOCs 及びケミカルは 1,000GT 未満の船舶から排出されるものとした。

7.4.3 2005年と2010年のデータ比較

2010年と2005年で非燃焼系 NMVOCs 排出量等を比較すると表 7.4-6に示すとおりとなる。

原油荷役起源の NMVOCs は、移出量が減少したことに伴って、2010年は2005年の約8割弱となり、ガソリン起源の NMVOCs は、移出、輸出ともに増加したため、2010年は2005年の1.2倍に増加した。ケミカル起源の NMVOCs は、対象品目の移出が増え輸出が減ったため、2010年は2005年の約9割弱に減少した。

表 7.4-6 2010年と2005年の非燃焼系 NMVOCs 排出量

項目		2010年	2005年	備考	
原油荷役量	移出量[ton]	喜入港	26,978,321	32,914,877	平成22年 港湾統計(年報)
		喜入港以外	3,754,513	5,465,898	
	計	30,732,834	38,380,775		
	輸出量[ton]	喜入港	115,337	0	
喜入港以外		188,971	165,152		
ガソリン荷役量	移出量[ton]	ガソリン比率	34.6%	26.2%	石油製品中にガソリンの占める割合から重量を算出
		ガソリン量	24,262,910	21,038,494	
	輸出量[ton]	ガソリン比率	9.3%	3.5%	
		ガソリン量	1,341,169	146,413	
ケミカル荷役量	移出量[ton]	化学薬品総量	20,040,879	26,731,904	2003年のケミカルタンカー輸送実績と平成15年の化学薬品移出量で算出
		対象品目	11,755,731	15,680,590	
	輸出量[ton]	化学薬品総量	17,496,804	15,774,708	
		対象品目	10,263,399	9,253,240	
排出係数	原油荷役起源の NMVOCs	vapor recovery あり	0.03	平成17年度 船舶からの揮発性有機化合物 (VOC) の排出影響に関する調査報告書	
		vapor recovery なし	0.14		
	ガソリン荷役起源の NMVOC	荷役時	0.12		
		ガスフリー時	0.14		
	ケミカル荷役起源の NMVOCs	ベンゼン	0.011		
		メタノール	0.006		
トルエン		0.004			
ジクロロエタン		0.016			
	アセトン	0.023			
NMVOCs [ton/year]	原油荷役起源の NMVOCs	喜入港	813	987	喜入港は "vapor recovery あり"、それ以外の港は "vapor recovery なし"
		喜入港以外	552	788	
		計	1,365	1,776	
	ガソリン荷役起源の NMVOC	荷役時	3,072	2,542	
		ガスフリー時	3,585	2,966	
		計	6,657	5,508	
	ケミカル荷役起源の NMVOCs	ベンゼン	30	34	
		メタノール	7	7	
		トルエン	4	4	
		ジクロロエタン	5	6	
アセトン		7	8		
計		53	60		

8. 多角的視点からの評価に関するまとめと今後の課題

我が国において ECA 設定の検討を行う場合は、環境基準あるいはその達成状況をものさしとしてシミュレーション結果である大気中濃度あるいは改善濃度の評価を行うことが基本となる。本事業では欧米による ECA 提案を参考にし、環境基準をものさしにした評価に加えて、陸域における環境改善効果指標、生態系影響及び人体健康影響をものさしにして大気環境濃度や沈着量の改善度合などを評価することを含めた多角的な視点による評価手法の開発を行い、開発した手法を用いて、我が国における ECA 設定の効果の定量的評価を試みた。

新たな科学的知見が得られた場合、あるいは Global Switch の導入の遅れ等の周囲の条件が変化した場合には、我が国において ECA 設定の必要性についての検討作業が将来において再開される可能性はあるだろう。このような将来の再検討を念頭に、ECA 設定の有効性を判断するための手法、国内における計算のためのツールや関連する入力データを整備しておく意義は大きいと考える。本事業で行った 2005 年船舶からの排出源データの整備、大気質シミュレーションコード CMAQ 及び関連データの整備、米国 EPA の開発した BenMAP をベースとした人体健康影響評価のためのツール及び関連データの整備等々の成果は、このような多角的評価手法の一環と位置づけられる。また、2010 年 (7 章で記載) を対象年とした船舶からの排出量データベースは、本事業外において実施される総合的な大気環境シミュレーションの一つの基礎データとなり得る。

IMO のクライテリアや欧米による ECA 提案においては、大気中濃度の改善濃度だけではなく、それに伴う人体健康影響と生態系影響へのリスク評価が大きく取り上げられていることがわかった。これら二つの評価は、我が国が仮に将来において IMO に対して ECA 申請を行う際に、IMO に対する申請書内において必ず必要な評価項目 かつ 重要視される項目であることには留意する必要がある。なお、欧州の ECA for S、特に 0.1% 設定後の環境改善効果については、条約改正後に定量的な解析が行われていないことが判った。今後の他海域における ECA for S 導入及び Global Switch の可否の検討のためにも同地域における定量的解析が望まれる。

他方、我が国においては、1.1.1 節で述べたように、PM_{2.5} の環境基準設定の際には、国内の疫学的研究との比較は行われたものの、このような定量的なインパクトの変化量の検討は行われていない。以上を考慮して、本事業では環境基準による評価に加えて生態系影響及び人体健康影響も含めた多角的な評価手法の開発を行い、我が国における ECA 設定の効果の定量評価を試みた。その概要を表 8-1 に示す。

表 8-1 本事業で開発した多角的視点による評価手法の概要

	評価のために抽出された多角的視点	目的の概要
A	海域及び陸域における大気汚染物質の排出状況による評価	ECA 設定に伴う排出量の変化を評価する。
B	環境基準をものさしとした 2020 年の大気中濃度の評価	将来の環境基準の達成に対する貢献を評価する。
C	陸上の環境改善効率指標をものさしとした 2020 年の大気中濃度の評価	陸上かつ居住地域における環境改善効果の面的な広がりを評価する。また、海域における単位排出削減努力量と、陸域排出源における同努力量の改善効果を比較する。
D	生態系影響をものさしとした 2020 年の大気中濃度及び沈着量の評価	O ₃ 濃度と硫黄・窒素沈着量の削減量から生態系に対するインパクトを評価する。
E	人体健康影響をものさしとした 2020 年の大気中濃度の評価	大気汚染物質の濃度の変化から、人体健康に対するインパクトを評価する。

これらの評価のベースになるのは、各シナリオにおける大気中汚染物質の濃度分布を求める大気質シミュレーションである。本事業では U.S. EPA が開発し、米国・カナダの ECA 申請時において採用された実績を持つ CMAQ (Community Multiscale Air Quality) を用いて、我が国における ECA 設定に関わる大気質改善効果の算定を行った。算定においては、現況再現性を重視し、統計的パラメータだけでなく高濃度現象の再現性などについて、委員会内に専門家 WG を設置し細かい検討を行った。細かい排出パターンを考慮した多くの排出シナリオを 5km メッシュの地方計算領域を含めて計算した事例はなく、本事業において多くの知見が蓄積されたことを特記したい。

日本に対する ECA 設定に関して、以下の結論が導かれた。

- ① ここでの評価結果のみを持って、2020 年度を目途に日本の海域に ECA for N を設定することの有効性を考察することは難しいと結論する(2 章、4 章)。
- ② 東京湾および大阪湾においては、2020 年度を目途に ECA for S を設定することの一定の改善効果を確認することができたと考える (3 章、5 章、6 章)。陸上の環境改善効率指標で評価すると、PM 削減量 1 トン当たりの PM_{2.5} 濃度に対する改善効果は、海上の排出源でありながら、船舶は自動車と同等であると評価された。
- ③ 東京湾のどの部分に ECA for S を設定するのが適切かについては、以下のオプションがあると考え。
 - ・ 東京湾全域
 - ・ 停泊中船舶のみ：SO₂ に着目すると、陸上の環境改善指標は東京湾全域の約 65% で、陸上の環境改善効率指標は東京湾全域より大きい。PM_{2.5} に着目する

と、陸上の環境改善効率指標は東京湾全域よりかなり小さい。

- ・ 両者の中間 (例えば停泊中船舶に加えて、主要航路帯以外の海域)

④ 大阪湾のどの部分に ECA for S を設定するのが適切かについては、以下のオプションがあると考える。

- ・ 大阪湾全域
- ・ 停泊中船舶のみ：SO₂ に着目すると、陸上の環境改善指標は大阪湾全域の約 7 割で、陸上の環境改善効率指標は大阪湾全域より大きい。PM_{2.5} に着目すると、陸上の環境改善指標は大阪湾全域の約 5 割で、陸上の環境改善効率指標は大阪湾全域よりわずかながら大きい。
- ・ 両者の中間は、活動量のパターンから主要な航路帯が抽出できないことから設定は困難。

なお、2020 年における ECA for N 設定は沿岸部において O₃ 濃度の増加を導く可能性が指摘された。しかしながら、2020 年以降で適切な計算対象年を選択し、対象年に対応した船舶からの NOx 排出量と、陸上排出源の NOx、NMVOCs 排出のいずれも 2020 年に比較して大きな削減量が期待できるため、今回の結果とは異なった O₃ に係る環境改善効果が計算されることも同時に期待できることになる。これについては今後の将来データベースの開発を待ちたい。ただし、近年の顕在化が指摘されている越境大気汚染など、今後、ECA for N 設定の時期やそれに係る O₃ 濃度への改善効果の関係を評価する際には、様々な項目を包括的に考慮してシナリオ設定を行うことが求められる。

人体健康影響評価について

目 次

1	人体健康影響評価の方法論及び日本に対する評価に使用するデータの整備	参考 1-2
1.1	人体健康影響評価の方法論	参考 1-2
1.2	日本に対する評価に使用するデータ	参考 1-5
1.2.1	2020 年の人口分布（グリッド毎年年齢層毎）	参考 1-5
1.2.2	2020 年のベースライン死亡率分布（グリッド毎年年齢層毎）	参考 1-8
1.2.3	2020 年のベースライン疾病率分布（グリッド毎年年齢層毎）	参考 1-9
1.2.4	C-R Function	参考 1-11
(1)	SO ₂	参考 1-11
(2)	PM _{2.5}	参考 1-18
(3)	NO ₂	参考 1-19
(4)	O ₃	参考 1-22
(5)	C-R Function のまとめ	参考 1-23
2	関東を対象とした人体健康影響評価	参考 1-30
2.1	関東に対する人体健康影響評価結果及び考察	参考 1-30
2.1.1	関東に対する人体健康影響評価結果	参考 1-30
2.1.2	関東に対する評価結果の考察	参考 1-34
(1)	ECA for S 設定で期待できる SO ₂ と PM _{2.5} の疾病数変化の比較	参考 1-34
(2)	ECA for N 設定で期待できる NO ₂ と O ₃ の疾病率の比較	参考 1-35
2.2	方法論の相違による結果への影響の評価	参考 1-36
2.2.1	人体健康影響の算定範囲の限定	参考 1-36
2.2.2	O ₃ による短期影響評価の処理ロジックの検討	参考 1-40
2.2.3	O ₃ による昼間の影響に焦点を当てた評価方法の検討	参考 1-43
3	欧米との比較の方法	参考 1-45
3.1	ECA for N に関する比較	参考 1-45
3.1.1	NO ₂ 排出削減量当たりの O ₃ による死亡者の減少数の比較	参考 1-45
(1)	関東についての評価方法	参考 1-45
(2)	米国との比較	参考 1-45
(3)	欧州との比較	参考 1-46
3.1.2	NO _x 排出量削減に関わる陸上の環境改善効率指標の比較	参考 1-46
(1)	関東についての評価方法	参考 1-46
(2)	米国との比較	参考 1-46
(3)	欧州との比較	参考 1-47

3.2 ECA for S に関する比較	参考 1-48
3.2.1 PM 排出削減努力量当たりの PM _{2.5} による死亡者の減少数	参考 1-48
(1) 関東についての評価方法	参考 1-48
(2) 米国との比較	参考 1-48
(3) 欧州との比較	参考 1-48
3.2.2 PM 排出量削減に関わる陸上の環境改善効率指標の比較.....	参考 1-49
(1) 関東についての評価方法	参考 1-49
(2) 米国との比較	参考 1-49
(3) 欧州との比較	参考 1-49

平成 23 年度は、2005 年における関東域を対象として、船舶からの大気汚染物質の排出量をゼロにした場合をベースラインとし、2005 年における現況の船舶からの排出量を付加した場合に PM_{2.5} 及び O₃ による人体健康影響がベースラインよりどの程度増加するかを計算することで、船舶寄与を算定した。平成 23 年度については、SO₂ と NO₂ による評価は行っていない。また、いずれの大気汚染物質についてもエンドポイントは死亡に限定した(PM_{2.5} と O₃ については参考資料に掲載)。

平成 24 年度は以下の評価を実施した。

- ・ 2020 年における関東域を対象として、船舶からの大気汚染物質の排出量をゼロにした場合をベースラインとし、2020 年における船舶からの大気汚染物質の排出量が ECA の設定無しに推移したシナリオ(A0 シナリオ、リファレンスシナリオ)における PM_{2.5} と SO₂ 及び O₃ と NO₂ による人体健康影響がベースラインよりどの程度増加するかを計算して、船舶寄与を求める。次に、各種の ECA シナリオ (A3 シナリオ、A3+シナリオ等) 設定時の船舶寄与がリファレンスシナリオ (A0 シナリオ) の船舶寄与時のそれよりどれだけ改善されるかを評価する。

表 1-1 平成 23 年度と平成 24 年度評価の比較

	本年度	平成 23 年度(参考)
評価対象年度	2020 年 (ベースライン死亡率も再度設定)	2005 年
評価対象領域	関東域でフルに計算し、他の海域は簡易計算を含めて必要に応じ評価	関東域
評価対象シナリオ の組合せ	船舶排出量ゼロ-A2 (Global Switch)	-
	船舶排出量ゼロ-A3 (ECA for S & ECA for N)	-
	船舶排出量ゼロ-A0 (リファレンス)	○
評価対象物質及び エンドポイント	SO ₂ : 疾病 (入院、救急受診、軽微な影響)	-
	PM _{2.5} : 死亡、疾病 (入院、救急受診)	○(疾病は参考資料に掲載)
	NO ₂ : 疾病 (入院、救急受診、軽微な影響)	-
	O ₃ : 死亡、疾病 (入院、救急受診)	○(疾病は参考資料に掲載)

1 人体健康影響評価の方法論及び日本に対する評価に使用するデータの整備

1.1 人体健康影響評価の方法論

平成 23 年度と同様に、2020 年における関東域を対象として、船舶からの大気汚染物質の排出量をゼロにした場合をベースラインとし、評価対象とするシナリオ（ECA 設定等の規制導入シナリオあるいは特に何もしないシナリオ等）毎に、その船舶寄与（当該シナリオ下の人体健康影響と船舶からの排出量をゼロとした場合の人体健康影響との差分）を評価し、シナリオ毎の改善効果を比較する。このため、米国で開発され公開されている人体健康便益評価モデルの BenMAP において採用されている健康影響評価モデルを採用する。評価プロセスの透明性、検証可能性、柔軟性を目的として、BenMAP の計算ロジックを基にした独自のツールを開発し、使用することとする。

人体健康影響を評価する基本式は以下の通りである。

$$\Delta R_j = \sum_k f(C_{baseline_j}, C_{control_j}, Incidence_{j,k}) * Population_{j,k} \quad \text{数式 1.1-1}$$

ΔR_j : グリッド j の健康影響の変化量（人/年・グリッド）

$C_{baseline_j}$: グリッド j の大気汚染物質濃度のベースライン¹濃度

$C_{control_j}$: グリッド j の大気汚染物質濃度のコントロール²濃度

$Incidence_{j,k}$: グリッド j の年齢層 k の健康影響のベースライン発生率(/年)

$f(x)$: C-R Function³

$Population_{j,k}$: グリッド j の年齢層 k の人口（人/グリッド）

ここで、ほとんどの C-R Function は Log Linear 関数なので、濃度に閾値を設定している C-R Function 以外は、健康影響の変化量分布は次式で表現される。

$$\Delta R_j = \sum_k \left(1 - \frac{1}{Exp(\beta * \Delta C_j)} \right) * Incidence_{j,k} * Population_{j,k} \quad \text{数式 1.1-2}$$

$$\Delta C_j = C_{control_j} - C_{baseline_j} \quad \text{数式 1.1-3}$$

β : Log Linear 関数及び Logistic 関数の係数

¹基準ケース。ここでは船舶からの排出をゼロとしたケース。

²対照ケース。例えば ECA を設定したケースあるいは ECA を設定しないケース。

³大気汚染物質の濃度が ΔC 変化した場合の人体健康影響量の変化量 ΔR を求める関数。疫学研究をベースに設定される。

これらの式の括弧の中は、 $\beta * \Delta C$ が 1 より十分に小さい場合には、近似的に $\beta * \Delta C$ と見なすことができる。ここで使用されている C-R Function のほとんどはその条件を満たしているため、ほぼ線型であると考えてよいことになる。その場合の式は数式 1.2-4 に示すとおりになり、近似的には、健康影響の変化量は、 β 、濃度差、ベースライン健康影響率、人口を掛け合わせたものと考えてよいことになる。

$$\Delta R_j = \sum_k \beta * \Delta C_j * Incidence_{j,k} * Population_{j,k}$$

数式 1.1-4

人体健康影響の評価項目（エンドポイント）として重要であると考えられる死亡数及び疾病発生数の変化から、2020 年における死亡数、疾病発生数に占める船舶からの排出の寄与割合及び ECA 設定によるその低減割合を評価する。

以上をわかりやすくまとめると、図 1.1-1 のようになる。

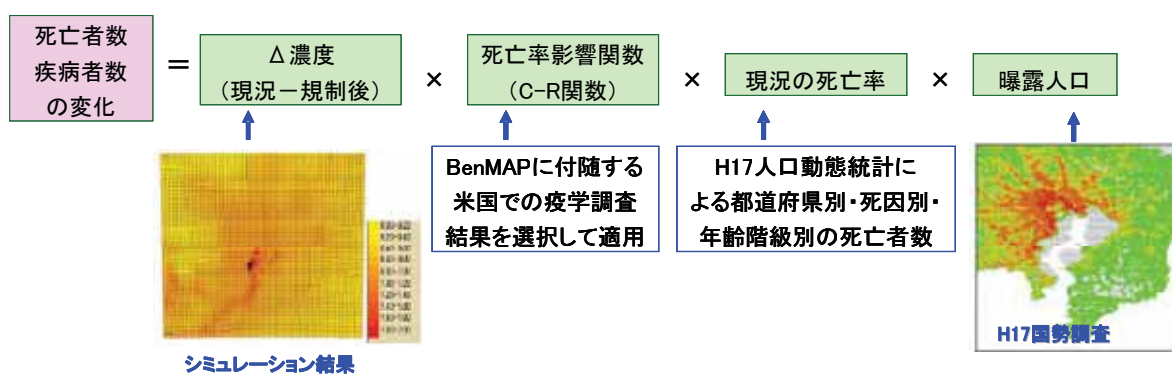


図 1.1-1 人体健康影響評価の算定方法（EPA の評価モデルである BenMAP での算定方法）

ただし、平成 23 年度の検討及び平成 23 年度以降の検討を踏まえて、以下のようにした。

- ・ BenMAP 代替ツールの開発、使用

平成 23 年度は評価ツールとして BenMAP をそのまま使用したが、BenMAP はソースコードが公開されておらず、内部の処理が不透明であり、作り付けの機能を修正したり、新たな機能を追加したりすることが一切できない。平成 24 年度は BenMAP と同等の機能を有するツールを BenMAP の計算ロジックを基にして独自に開発して、代表的なケースを選んで BenMAP と同等の結果が得られることを確認のうえで使用した。
- ・ 評価方法の相違による影響の検討

平成 23 年度に検討課題として挙げられた以下の項目について、その影響

の大きさを評価してみた。

- ・ 影響を評価する濃度範囲の検討
 - ・ 短期評価に使用するベースライン死亡率の検討
 - ・ 季節限定の評価による影響の検討
- ・ 評価対象大気汚染物質の拡張

平成 23 年度は PM_{2.5} 及び O₃ に起因する人体健康影響評価を実施したが、平成 24 年度は SO₂ 及び NO₂ に起因する人体健康影響評価も実施した。いずれも BenMAP に登録されている C-R Function から適切なものを選択して使用した。

1.2 日本に対する評価に使用するデータ

平成 24 年度使用するデータと平成 23 年度使用したデータの相違点を表 1.2-1にまとめる。

表 1.2-1 人体健康影響評価に使用するデータの平成 23 年度と平成 24 年度の相違のまとめ

		平成 23 年度	平成 24 年度
人口分布		2005 年国勢調査による 夜間人口	2005 年国勢調査+市区町村別将来推計人口 夜間人口、昼間人口
ベースライン死亡率分布		2005 年人口動態調査による	2010 年人口動態調査による
ベースライン疾病率分布		2008 年患者調査による 都道府県によらず全国一律	2008 年患者調査による 都道府県毎の値を採用
C-R Function	SO ₂	評価せず	BenMAP 登録 Function から選択
	PM _{2.5}	BenMAP 登録 Function から選択	新規に Function 追加
	NO ₂	評価せず	BenMAP 登録 Function から選択
	O ₃	BenMAP 登録 Function から選択	新規に Function 追加

1.2.1 2020 年の人口分布（グリッド毎年年齢層毎）

2012 年 9 月 1 日現在公表されている最新の人口動態統計または将来推計人口等のデータは表 1.2-2のとおりである。

表 1.2-2 人口分布の設定に使用したデータ

データ分類	利用可能なデータ内容	備考
①平成 17 年国勢調査-1km メッシュ	1km メッシュの男女別人口総数及び世帯総数	執筆時点で平成 22 年国勢調査の同フォーマットのデータはまだ公表されていない http://www.e-stat.go.jp/
②平成 22 年国勢調査（小地域）	町丁・字別等の年齢別（5 歳階級、4 区分）、男女別人口	最新国勢調査結果 http://www.e-stat.go.jp/
③日本の市区町村別将来推計人口（平成 20 年 12 月推計）	平成 20 年 12 月 1 日現在の 1,805 市区町村の年齢別（5 歳階級）平成 32 年（2020 年）の人口推計	国立社会保障・人口問題研究所が作成した人口推計。ただし、基準人口は平成 17 年国勢調査結果が適用されている。 http://www.ipss.go.jp/

平成 23 年度は、平成 17 年国勢調査の 1km メッシュと小地域の統計データを用いて人口分布を作成したが、平成 22 年国勢調査の 1km メッシュ統計データはまだ公表されていない。このため、2020 年時点の年齢層別人口分布を以下の手法で設定した。なお、③の日本の市区町村別将来推計人口の推計に当たっては、将来の生残率、将来の純移動率、将来の子ども女性比、将来の 0～4 歳性比を考慮している。

- ・①の 1km メッシュの GIS 情報をグリッドの GIS 情報と空間結合し、③の市区町村別 2020 年推計人口をグリッドに按分する。

また、平成 23 年度は夜間人口のみを採用したが、O₃ の人体影響を評価するためには、8 時間日最大値と昼間人口を使って評価するとどの程度の相違があるかを評価するために、昼間人口を使った人口分布をも整備した。手法は上記と同様である。

その結果得られた関東域の人口分布は図 1.2-1、図 1.2-2のとおりである。

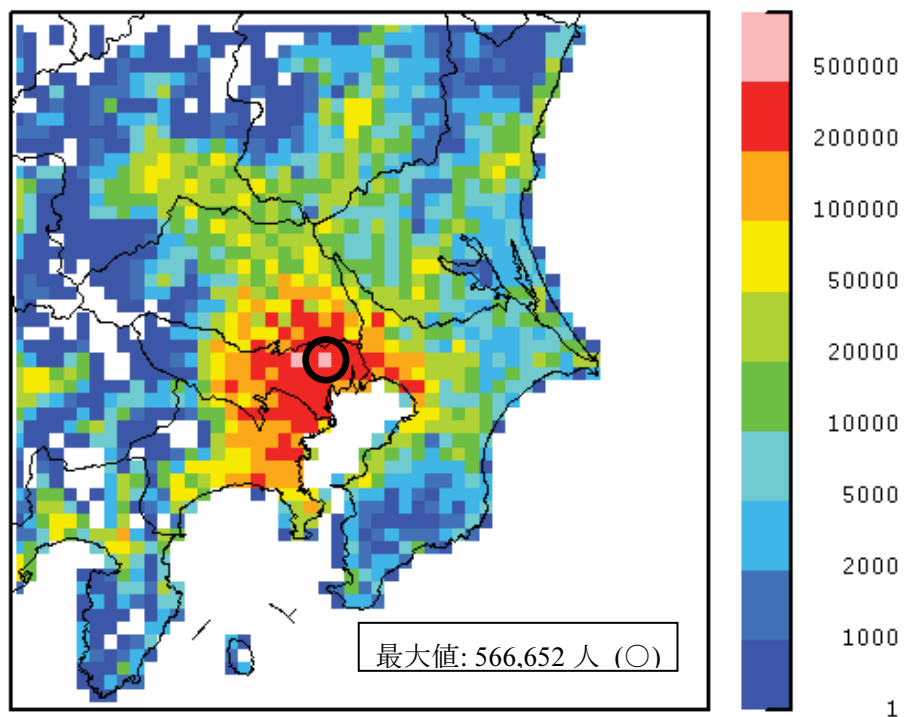


図 1.2-1 2020 年における関東域の人口分布（夜間人口）

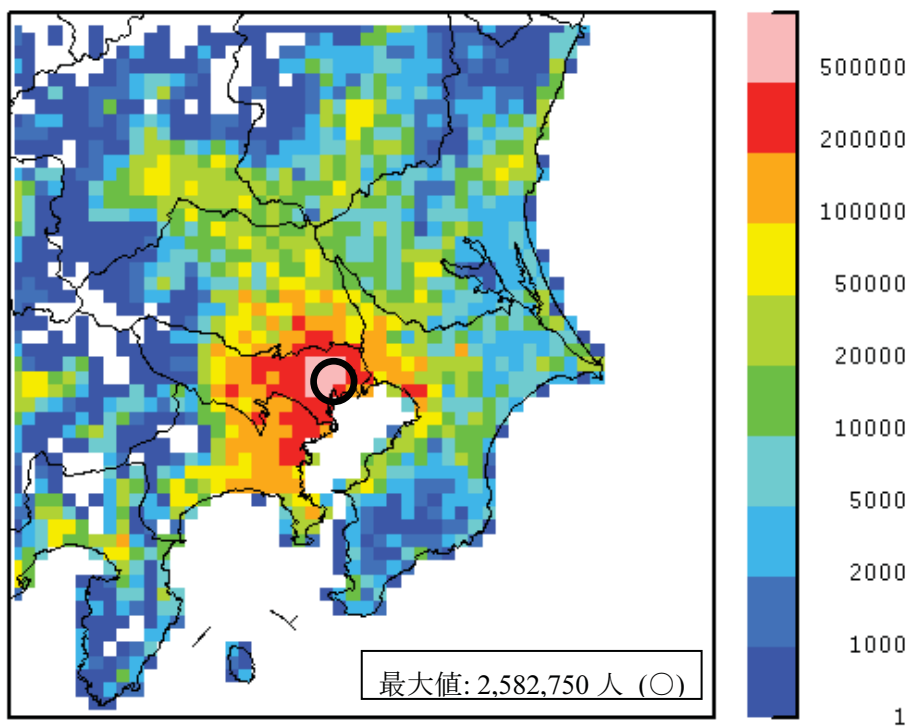


図 1.2-2 2020 年における関東域の人口分布（昼間人口）

1.2.2 2020年のベースライン死亡率分布（グリッド毎年齢層毎）

2012年9月1日現在公表されている最新の人口動態統計のデータは表 1.2-3のとおりである。

表 1.2-3 ベースライン死亡率分布の設定に使用したデータ

データ分類	利用可能なデータ内容	備考
④平成 22 年人口動態調査	年齢(5 歳階級)・死因(死因簡単分類)・都道府県(20 大都市再掲)	平成 23 年度利用したデータ「平成 17 年人口動態調査」の最新版 http://www.e-stat.go.jp/

将来の死亡率を推定した資料は見当たらない。したがって、死亡については最新の統計値（④平成 22 年人口動態調査）をベースにしたものをそのまま使用するものとする。手法は平成 23 年度と同じとする。

事故死以外の死亡に関する関東域の死亡率分布は図 1.2-3のとおりである。

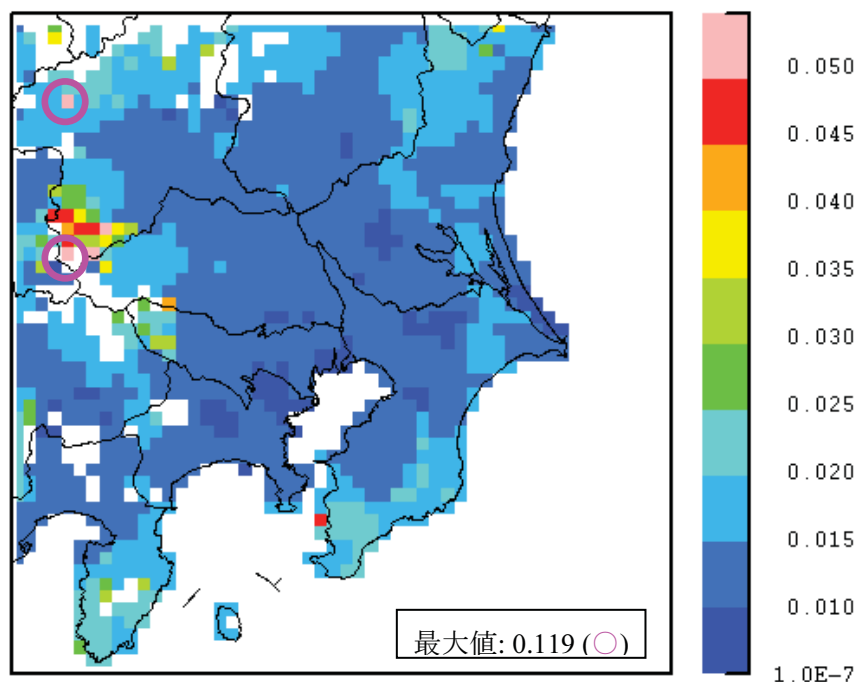


図 1.2-3 2020 年における関東域の死亡率分布（事故死以外の死亡）

1.2.3 2020年のベースライン疾病率分布（グリッド毎年齢層毎）

2012年9月1日現在公表されている最新の疾病に関するデータは表 1.2-4のとおりである。

表 1.2-4 疾病率分布の設定に使用したデータ

データ分類	利用可能なデータ内容	備考
⑤平成 20 年患者調査	年齢（5 歳階級）・傷病分類・都道府県	平成 23 年度利用したデータ http://www.mhlw.go.jp/toukei/list/10-20.html

将来の疾病率を推定した資料は見当たらない。したがって、疾病については最新の統計値（⑤平成 20 年患者調査）をベースにしたものをそのまま使用するものとする。ただし、平成 23 年度は調査結果が「-」（調査時点において総数がゼロ）あるいは「0」（調査時点において総数が 50 人未満）となっている都道府県が多かったので、都道府県ごとの値は一切使用せず、全国平均の値を一律にすべての都道府県に適用した。平成 24 年度は都道府県ごとの値をなるべく生かすように、以下のように考えた。

- ・ 記載されている「-」と「0」以外の数値はできる限り活用する。
- ・ 新規入院及び救急受診とも、全国の総数を保存するように都道府県別に配分する。
- ・ 都道府県別の年齢層別の分布は都道府県別の値を使う。

具体的には以下のようにした。

- ・ まず各疾病の新規入院と救急受診について、各都道府県の総数を以下のようにして求める。
 - ・ 「-」と「0」以外の総数が記載されている都道府県についてはその都道府県別の新規入院人数及び救急受診人数を採用する。
 - ・ 全国の総数から、「-」と「0」以外の都道府県の総数を差し引き、全国の総人口から「-」と「0」以外の都道府県の総人口を差し引いたもので割って、「-」と「0」の都道府県合計新規入院及び救急受診率を求める。
 - ・ 総数が「-」と「0」の都道府県に対しては「-」と「0」の都道府県合計新規入院及び救急受診率に当該都道府県人口をかけて都道府県別の新規入院人数及び救急受診人数を求める。
- ・ すべての都道府県について、上記で得られた各都道府県別総数を、都道府県別年齢層別新規入院人数及び救急受診人数分布にしたがって配分する。
- ・ これらをすべて都道府県別年齢層別総人口で割って、ある疾病について、

年齢層毎の1日あたり1人あたりの新規入院あるいは救急受診者数を求める。

- これをグリッド毎に配分して、疾病毎・グリッド毎・年齢層毎の1日あたり1人あたりの年間新規入院あるいは救急受診者数を求める。

慢性肺疾患に関する関東域の疾病率分布は図 1.2-4 のようになる。

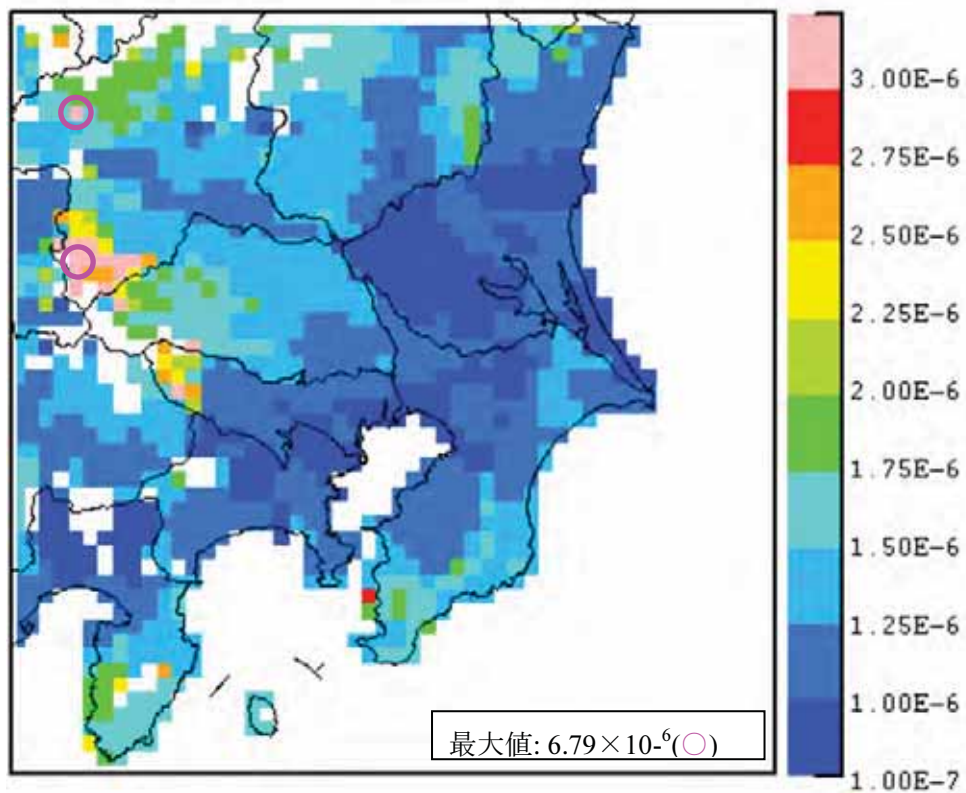


図 1.2-4 2020 年における関東域の疾病率分布（慢性肺疾患）

1.2.4 C-R Function

(1) SO₂

SO₂については、平成 23 年度は C-R Function のスクリーニングを行っていないので、本年度新たにスクリーニングを行った。

BenMAP は適宜アップデートされており、現時点における最新バージョンは 2013 年 1 月の Version 4.0.67⁴である。C-R Function もその都度見直されており、平成 23 年度参照した 2010 年 9 月の BenMAP Version 4.0.35⁵と比較すると、救急受診に関する Jaffe et. al. (2003)の C-R Function が削除されている。ここでは、BenMAP に登録されていない疫学文献の調査は行わなかった。

最新の BenMAP Version 4.0.67 には以下の C-R Function が登録されている。

- ・ 入院
 - ・ 全呼吸器疾患：11 種
 - ・ 喘息：1 種
 - ・ 慢性肺疾患：1 種
- ・ 救急受診
 - ・ 喘息：26 種
- ・ 喘息の悪化
 - ・ 1 あるいは複数の症状：4 種
 - ・ 夜間の喘息：1 種
 - ・ Slow Play：1 種
 - ・ 学校欠席：1 種
- ・ 軽微な影響：急性呼吸器症状
 - ・ 咳：1 種

C-R Function の形は以下のとおりである。

- ・ 入院、救急受診
 - ・ Log Linear 関数の例
$$\Delta : (1 - \text{EXP}(-\text{Beta} * \text{DELTAQ})) * \text{Incidence} * \text{POP}$$
Baseline : Incidence * POP
 - ・ Logistic 関数の例

⁴ US EPA, BenMAP (Environmental Benefits Mapping and Analysis Program) Version 4.0.67 (September 13, 2010) : <http://www.epa.gov/oaqps001/benmap/download.html>よりダウンロード可能。

⁵ US EPA, BenMAP (Environmental Benefits Mapping and Analysis Program) Version 4.0.35 (September 13, 2010)

$\Delta = \left(\text{Incidence} - \left(\frac{\text{Incidence}}{(1 - \text{Incidence}) * \exp(\text{Beta} * \text{DELTA} * \text{Q}) + \text{Incidence}} \right) \right) * \text{POP}$ <p>Baseline : Incidence * POP</p> <ul style="list-style-type: none"> • 喘息の悪化 <ul style="list-style-type: none"> • Log Linear 関数の例 $\Delta : (1 - \exp(-\text{Beta} * \text{DELTA} * \text{Q})) * \text{A} * \text{POP} * \text{Prevalence}$ <p>Baseline : A * POP * Prevalence</p> <p>Incidence Rate : A=0.121428571</p> • Logistic 関数の例 $\Delta : \left(\text{A} - \frac{\text{A}}{(1 - \text{A}) * \exp(\text{Beta} * \text{DELTA} * \text{Q}) + \text{A}} \right) * \text{POP} * \text{Prevalence}$ <p>Baseline : A * POP * Prevalence</p> <p>Incidence Rate : A=0.145</p> • 軽微な影響：急性呼吸器症状（咳） <ul style="list-style-type: none"> • Logistic 関数の例 $\Delta : \left(\text{A} - \frac{\text{A}}{(1 - \text{A}) * \exp(\text{Beta} * \text{DELTA} * \text{Q}) + \text{A}} \right) * \text{POP}$ <p>Baseline : A * POP</p> <p>Incidence Rate : A=0.00416</p> 	:
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---

このうち、喘息の悪化に関しては有症率の設定が必要であるが、⑤平成20年患者調査には喘息が疾病として分類されていないため、利用できない。したがって、喘息の悪化に関する評価は行わないことにする。

軽微な影響：急性呼吸器症状（咳）に関してもベースライン疾病率が必要であるが、米国においても信頼できる調査結果がないことから、ベースライン疾病率のデータを使用するのではなく、全グリッドの全年齢層に対して有症率が0.00416の割合であると仮定している。日本に対しても同じ値を使用することとする。

平成23年度はPM_{2.5}とO₃のC-R Functionのスクリーニングに際し、以下の基準を設定した。

- 基準1：原著論文に準拠していること。
- 基準2：なるべく広範な地域を対象にした疫学研究によっていること。
- 基準3：C-R FunctionがReasonableであること。

今回SO₂のC-R Functionのスクリーニングに関して、入院、救急受診、軽微な影

響：急性呼吸器症状に関する C-R Function を見ると、基準 1 に抵触するものはない。次に、すべてが地域限定の疫学研究なので基準 2 でスクリーニングすることもできない。基準 3 はスクリーニングとして有効であり、具体的には β 値がゼロあるいはマイナスのものは除外する。

そこで、以上の 3 つの基準に加えて、本年度は以下の基準を新たに設定した。

- ・ 基準 4：男女別の C-R Function は除外。
 - 一般に SO_2 による入院、救急受診を要する症状の発現に関して性差が認められるというのは共通の認識になっているとは考えられない。
 - また、実際に β 値を見ると、マイナスのものが見受けられ、他の交雑要因を除外するときの処理に問題があるのではないかと疑われる。
- ・ 基準 5：同じ論文から複数の C-R function が登録されている場合、より広い年齢範囲の C-R Function を選択した。
 - なるべく幅広い影響評価をしたいと考える。

その結果残ったのは以下の C-R Function である（表 1.2-5）。

- ・ 入院
 - ・ 全呼吸器系疾患：Fung et al., 2006、Schwartz et al, 1996、Yang et al. 2003
 - ・ 慢性肺疾患：Yang et al. 2005
 - ・ 喘息：Sheppard, L
- ・ 救急受診
 - ・ 喘息：Ito et al., 2007（温暖期、1年中）、Michaud et al., 2004、NYDOH, 2006、Peel et al., 2005、Wilson et al., 2005（Portland、Manchester）
- ・ 軽微な影響：急性呼吸器症状
 - ・ 咳：Schwartz et al, 1994

表 1.2-5 SO₂ による疾病に関する C-R Function のスクリーニング

Endpoint Group	Endpoint	C-R Function (論文)	年齢 (歳)	濃度データの処理	健康影響係数: β	注意事項	スクリーニング				備考
							基準 3: β がゼロあるいはマイナス	基準 4: 男女別	基準 5: 同論文に より幅広い年齢層のデータが他にある	総合	
入院 : 呼吸器疾患	全呼吸器疾患	Fung et al., 2006	65-99	日平均値 (配列)	0.017224	Vancouver, Canada	○	○	○	○	
		Luginaah et al., 2005	0-99	1 時間日最大値(配列)	0.002336	Windsor, Ontario Female	○	×	○	×	
		Luginaah et al., 2005	0-99	1 時間日最大値(配列)	-0.00067	Windsor, Ontario Male	×	×	○	×	
		Luginaah et al., 2005	0-14	1 時間日最大値(配列)	0.005468	Windsor, Ontario Female	○	×	×	×	
		Luginaah et al., 2005	0-14	1 時間日最大値(配列)	-0.00026	Windsor, Ontario Male	×	×	×	×	
		Luginaah et al., 2005	15-64	1 時間日最大値(配列)	0.003418	Windsor, Ontario Female	○	×	×	×	
		Luginaah et al., 2005	15-64	1 時間日最大値(配列)	0.002336	Windsor, Ontario Male	○	×	×	×	
		Luginaah et al., 2005	65-99	1 時間日最大値(配列)	0.003709	Windsor, Ontario Female	○	×	×	×	

救急受診：呼吸器疾患	慢性肺疾患 喘息	Luginaah et al., 2005	65-99	1 時間日最大値(配列)	-0.002332	Windsor, Ontario Male	×	×	×	×	×	×		
		Schwartz et al., 1996	65-99	日平均値(配列)	0.000769	Cleveland, Ohio	○	○	○	○	○	○	○	
		Yang et al. 2003	65-99	日平均値(配列)	0.002843	Vancouver, Canada	○	○	○	○	○	○	○	
		Yang et al. 2005	65-99	日平均値(配列)	0.024164	Minneapolis MN。	○	○	○	○	○	○	○	
		Sheppard, L	0-64	日平均値(配列)	0.002031	Minneapolis MN。	○	○	○	○	○	○	○	
		Ito et al., 2007	0-99	日平均値(配列)	0.030692	NYC。温暖期	○	○	○	○	○	○	○	
		Ito et al., 2007	0-99	日平均値(配列)	0.004372	NYC。1年中	○	○	○	○	○	○	○	
		Michaud et al., 2004	0-99	日平均値(配列)	0.002956	Hilo, Hawaii	○	○	○	○	○	○	○	
		NYDOH, 2006	0-4	日平均値(配列)	0.011111	Bronx, NYC	○	○	○	○	×	×	×	
		NYDOH, 2006	0-99	日平均値(配列)	0.006996	Bronx, NYC Male	○	×	×	○	○	×	×	
		NYDOH, 2006	0-99	日平均値(配列)	0.011912	Bronx, NYC Female	○	○	×	○	○	×	×	
		NYDOH, 2006	0-99	日平均値(配列)	0.009487	Bronx, NYC PM _{2.5} と	○	○	○	○	○	○	○	これは 式が全く

Wilson et al., 2005	0-14	日平均値 (配列)	0.018	Manchester, NH	○	○	×	×	×
Wilson et al., 2005	15-64	日平均値 (配列)	0.011	Portland, ME	○	○	×	×	×
Wilson et al., 2005	15-64	日平均値 (配列)	0.003	Manchester, NH	○	○	×	×	×
Wilson et al., 2005	65-99	日平均値 (配列)	0.011	Portland, ME	○	○	×	×	×
Wilson et al., 2005	65-99	日平均値 (配列)	0.011	Manchester, NH	○	○	×	×	×
Wilson et al., 2005	0-99	日平均値 (配列)	0.01	Portland, ME	○	○	○	○	○
Wilson et al., 2005	0-99	日平均値 (配列)	0.006	Manchester, NH	○	○	○	○	○
Schwartz et al, 1994	7-14	日平均値 (配列)	0.008618	Six U.S. cities. 温暖期	○	○	○	○	○
軽微な影響		咳							

(2) PM_{2.5}

基本的に、平成 23 年度整備済のデータを使用した。ただし、同じ著者グループによる同じシリーズのより最新の疫学研究論文がないか、調査した。また、BenMAP の最新バージョン 4.0.67 で追加されている C-R Function についても検討した。その結果、以下の C-R Function を追加することにした。

- ・ 全死亡：Lepeule et al. (2012)：Laden et al. (2006)の後継研究
- ・ 肺がんによる死亡：Turner et al. (2011)：Krewski et al. (2009)の後継研究
- ・ 喘息による入院：Babin et al. (2007)
- ・ 全呼吸器疾患による入院：Zanobetti et al. (2009)
- ・ 全循環器疾患による入院：Bell et al. (2008)、Peng et al. (2008)、Peng et al. (2009)、Zanobetti et al. (2009)
- ・ 喘息による救急受診：Mar et al. (2010)、Slaughter et al. (2005)

なお、BenMAP の最新バージョン 4.0.67 では、BenMAP 側で閾値を設定して β 値を調整した C-R Function（平成 23 年度はこれらはスクリーニングで排除した）はすべて削除されている。

(3) NO₂

BenMAP の最新バージョン 4.0.67 には以下の C-R Function が登録されている。平成 23 年度参照した BenMAP と比較すると、救急受診に関する Jaffe et al. (2003) の C-R Function が削除されている。ここでは、BenMAP に登録されていない疫学文献の調査は行わなかった。

- ・ 入院
 - ・ 全呼吸器疾患：8 種
 - ・ 喘息：2 種
 - ・ 慢性肺疾患：3 種
- ・ 救急受診
 - ・ 喘息：4 種
- ・ 喘息の悪化
 - ・ 1 あるいは複数の症状：5 種
 - ・ 夜間の喘息：1 種
 - ・ Slow Play：1 種
 - ・ 学校欠席：1 種
 - ・ 咳：2 種
 - ・ 息切れ：2 種
 - ・ 喘鳴：2 種
- ・ 軽微な影響：急性呼吸器症状
 - ・ 咳：1 種

C-R Function の形は、SO₂ と全く同様である。SO₂ と同様に、喘息の悪化に関しては有症率の設定が必要であるが、利用可能なデータは現時点では見つからない。したがって、喘息の悪化に関する評価は行わないことにする。

SO₂ と同様のスクリーニングを実施したところ、残ったのは以下の C-R Function である（表 1.2-6）。

- ・ 入院
 - ・ 全呼吸器系疾患：Fung et al., 2006、Yang et al. 2003
 - ・ 慢性肺疾患：Moolgavkar S H, 2003 (Cook、Los Angeles)、Yang et al. 2005
 - ・ 喘息：Linn et al., 2000 (30 歳未満、以上)
- ・ 救急受診
 - ・ 喘息：Ito et al., 2007 (温暖期)、NYDOH, 2006、Peel et al., 2005、Villeneuve et al., 2007
- ・ 軽微な影響：急性呼吸器症状
 - ・ 咳：Schwartz et al, 1994

表 1.2-6 NO₂ による疾病に関する C-R Function のスクリーニング

Endpoint Group	Endpoint	C-R Function (論文)	年齢 (歳)	濃度データの処理	健康影響係数: β	注意事項	スクリーニング				備考
							基準3: β がゼロあるいはマイナス	基準4: 男女別	基準5: 同論文にはより幅広い年齢層のデータが他に	総合	
入院: 呼吸器疾患	全呼吸器疾患	Fung et al., 2006	65-99	日平均値 (配列)	0.003285	Vancouver, Canada	○	○	○	○	○
		Luginaah et al., 2005	0-14	1 時間日最大値 (配列)	0.006747	Windsor, Ontario Female	○	×	○	×	×
		Luginaah et al., 2005	0-14	1 時間日最大値 (配列)	-0.002878	Windsor, Ontario Male	×	×	○	×	×
		Luginaah et al., 2005	15-64	1 時間日最大値 (配列)	0.007139	Windsor, Ontario Female	○	×	○	×	×
		Luginaah et al., 2005	15-64	1 時間日最大値 (配列)	0.000768	Windsor, Ontario Male	○	×	○	×	×
		Luginaah et al., 2005	65-99	1 時間日最大値 (配列)	0.001238	Windsor, Ontario Female	○	×	○	×	×
		Luginaah et al., 2005	65-99	1 時間日最大値 (配列)	-0.001435	Windsor, Ontario Male	×	×	○	×	×
		Yang et al., 2003	65-99	日平均値 (配列)	0.002843	Vancouver, Canada	○	○	○	○	○

慢性肺 疾 患 (COPD)	Moolgavkar S H, 2003	65-99	日 平 均 值 (配列)	0.0018	Los Angeles County, CA。	○	○	○	○	○	
	Moolgavkar S H, 2003	65-99	日 平 均 值 (配列)	0.0024	Cook County, CA。	○	○	○	○	○	
	Yang et al. 2005	65-99	日 平 均 值 (配列)	0.020605	Vancouver, Canada	○	○	○	○	○	
	Linn et al., 2000	0-29	日 平 均 值 (配列)	0.0024	Metropolitan Los Angels	○	○	○	○	○	
	Linn et al., 2000	30-99	日 平 均 值 (配列)	0.0014	Metropolitan Los Angels	○	○	○	○	○	
	Ito et al., 2007	0-99	日 平 均 值 (配列)	0.00546	NYC。 温暖期	○	○	○	○	○	
	NYDOH, 2006	0-99	日 平 均 值 (配列)	0.002264	NYC	○	○	○	○	○	
	Peel et al., 2005	0-99	1 時 間 日 最 大 值 (配列)	0.002296	Atlanta, GA	○	○	○	○	○	
	Villeneuve et al., 2007	75-99	日 平 均 值 (配列)	0.013505	Edmonton, Canada	○	○	○	○	○	
	Schwartz et al, 1994	7-14	日 平 均 值 (配列)	0.0157	Six U.S. cities。 温暖期	○	○	○	○	○	
救 急 受 呼 診 : 呼 吸 器 疾 患											
軽 微 な 影 響											

(4) O₃

基本的に、平成 23 年度整備済のデータを使用した。ただし、同じ著者グループによる同じシリーズのより最新の疫学研究論文がないか、調査した。また、BenMAP の最新バージョン 4.0.67 で追加されている C-R Function についても検討した。その結果、以下の C-R Function を追加することにした。

- 事故死以外の死亡 : Bell et. al. (2006)、Bell et. al. (2007)、Bell and Dominici (2008) : Bell et al. (2004)の後継研究
- 事故死以外の死亡 : Zanobetti and Schwartz (2008) : Schwartz (2005)の後継研究

(5) C-R Function のまとめ

以上、平成 24 年度選択した C-R Function を表 1.2-7～表 1.2-12にまとめて示す。死亡をエンドポイントとする C-R Function については、原著論文の記載まで確認した。

表 1.2-7 SO₂に起因する入院、救急受診及び軽微な影響に関して選択したC-R Function

影響評価項目	Endpoint	C-R Function (論文)	年齢 (歳)	濃度データの処理	健康影響係数: β	注意事項	関数型
入院：呼吸器疾患	全呼吸器系疾患	Fung et al., 2006	65-99	日平均値(配列)	0.017224	Vancouver, Canada	Log-linear
		Schwartz et al., 1996	65-99	日平均値(配列)	0.000769	Cleveland, Ohio	Log-linear
		Yang et al. 2003	65-99	日平均値(配列)	0.002843	Vancouver, Canada	Logistic
救急受診：呼吸器疾患	慢性肺疾患	Yang et al. 2005	65-99	日平均値(配列)	0.024164	Minneapolis MN。	Log-linear
		Sheppard, L	0-64	日平均値(配列)	0.002031	Minneapolis MN。	Log-linear
	喘息	Ito et al., 2007	0-99	日平均値(配列)	0.030692	NYC。温暖期	Log-linear
		Ito et al., 2007	0-99	日平均値(配列)	0.004372	NYC。1年中	Log-linear
		Michaud et al., 2004	0-99	日平均値(配列)	0.002956	Hilo, Hawaii	Log-linear
		NYDOH, 2006	0-99	日平均値(配列)	0.009487	Bronx, NYC	Log-linear
		Peel et al., 2005	0-99	1時間日最大値(配列)	0.000744	Atlanta, GA	Log-linear
		Wilson et al., 2005	0-99	日平均値(配列)	0.01	Portland, ME	Log-linear
		Wilson et al., 2005	0-99	日平均値(配列)	0.006	Manchester, NH	Log-linear
		Schwartz et al., 1994	7-14	日平均値(配列)	0.008618	Six U.S. cities。温暖期	Logistic
咳							

表 1.2-8 PM_{2.5} に起因する死亡に関して選択した C-R Function

影響評価項目	Endpoint	C-R Function (論文)	年齢 (歳)	濃度データの処理	健康影響係数: β	注意事項	関数型	原著論文の記載
死亡 (全て長期)	全死亡 虚血性心疾患による死亡 肺がんによる死亡	Pope et al., 2002	30-99	年平均値	0.005827	51 Cities	Log-linear	10 μ g/m ³ の相対リスク : 1.06
		Krewski et al., 2009	30-99	年平均値	0.005827	116 US Cities	Log-linear	10 μ g/m ³ の相対リスク : 1.06
		Laden et al., 2006	25-99	年平均値	0.014842	6 Cities	Log-linear	10 μ g/m ³ の相対リスク : 1.16
		Lepeule et al., 2012	25-99	年平均値	0.014 0.013103	6 Cities	Log-linear	10 μ g/m ³ の % Change : 14%
		Woodruff et al., 1997	0-0	年平均値	0.003922	86 Cities	Logistic	10 μ g/m ³ のオッズ比 : 1.04
		Woodruff et al., 2006	0-0	年平均値	0.006766	204 Countries	Logistic	10 μ g/m ³ のオッズ比 : 1.07
		Krewski et al., 2009	30-99	年平均値	0.021511	116 US Cities	Log-linear	10 μ g/m ³ の相対リスク : 1.24
		Krewski et al., 2009	30-99	年平均値	0.013103	116 US Cities	Log-linear	10 μ g/m ³ の相対リスク : 1.14
		Turner et al., 2011	30-99	年平均値	0.015~0.027 0.013976~ 0.023902	ACS CPS (Cancer Prevention Study)-II	Log-linear	10 μ g/m ³ の % Change : 15~27%

表 1.2-9 PM_{2.5} に起因する入院及び救急受診に関して選択した C-R Function

影響評価項目	Endpoint	C-R Function (論文)	年齢 (歳)	濃度データの処理	健康影響係数: β	注意事項	関数型	
入院：呼吸器疾患	慢性肺疾患 (COPD)	Moolgavkar 2000a	18-64	日平均値(配列)	0.0022	Los Angels CA。	Log-linear	
		Moolgavkar 2003	65-99	日平均値(配列)	0.00185	Los Angels CA。	Log-linear	
	肺炎	Ito 2003	65-99	日平均値(配列)	0.001169	Detroit MI。	Log-linear	
		Ito 2003	65-99	日平均値(配列)	0.003979	Detroit MI。	Log-linear	
	喘息	Sheppard 2003	0-64	日平均値(配列)	0.003324	Seattle WA。	Log-linear	
		Babin et al. 2007	0-17	日平均値(配列)	0.002	Washington D.C.	Log-linear	
	全呼吸器疾患	Zanobetti et al 2009	65-99	日平均値(配列)	0.00207	26 U.S. Communities	Log-linear	
		Ito 2003	65-99	日平均値(配列)	0.001435	Detroit MI。	Log-linear	
	入院：循環器疾患	虚血性心疾患	Moolgavkar 2000b	18-64	日平均値(配列)	0.0014	Los Angels CA。	Log-linear
			Moolgavkar 2003	65-99	日平均値(配列)	0.00158	Los Angels CA。	Log-linear
全循環器疾患		Bell et al. 2008	65-99	日平均値(配列)	0.0008	202 U.S. counties	Log-linear	
		Peng et al. 2008	65-99	日平均値(配列)	0.00071	108 U.S. counties	Log-linear	
Peng et al. 2009		65-99	日平均値(配列)	0.00068	119 U.S. counties	Log-linear		
Zanobetti et al 2009		65-99	日平均値(配列)	0.00189	26 U.S. Communities	Log-linear		
喘息		Norris et al., 1999	0-17	日平均値(配列)	0.016527	Seattle WA。	Log-linear	
		Mar et al. 2010	0-99	日平均値(配列)	0.005603	Greater Tacoma WA	Log-linear	
救急受診	Slaughter et al. 2005	0-99	日平均値(配列)	0.002956	Spokane WA	Log-linear		

表 1.2-10 NO₂ に起因する入院、救急受診及び軽微な影響に関する C-R Function

影響評価項目	Endpoint	C-R Function (論文)	年齢 (歳)	濃度データの処理	健康影響係数: β	注意事項	関数型
入院：呼吸器疾患	全呼吸器系疾患	Fung et al., 2006	65-99	日平均値(配列)	0.003285	Vancouver, Canada	Log-linear
		Yang et al. 2003	65-99	日平均値(配列)	0.002843	Vancouver, Canada	Logistic
	慢性肺疾患 (COPD)	Moolgavkar S H, 2003	65-99	日平均値(配列)	0.0018	Los Angeles County, CA.	Log-linear
		Moolgavkar S H, 2003	65-99	日平均値(配列)	0.0024	Cook County, CA.	Log-linear
救急受診：呼吸器疾患	喘息	Yang et al. 2005	65-99	日平均値(配列)	0.020605	Vancouver, Canada	Logistic
		Linn et al., 2000	0-29	日平均値(配列)	0.0024	Metropolitan Los Angeles	Log-linear
	Linn et al., 2000	30-99	日平均値(配列)	0.0014	Metropolitan Los Angeles	Log-linear	
	Ito et al., 2007	0-99	日平均値(配列)	0.00546	NYC。温暖期	Log-linear	
	NYDOH, 2006	0-99	日平均値(配列)	0.002264	NYC	Log-linear	
	Peel et al., 2005	0-99	1時間日最大値(配列)	0.002296	Atlanta, GA	Log-linear	
軽微な影響	咳	Villeneuve et al., 2007	75-99	日平均値(配列)	0.013505	Edmonton, Canada	Logistic
		Schwartz et al, 1994	7-14	日平均値(配列)	0.0157	Six U.S. cities。温暖期	Logistic

表 1.2-11 O₃に起因する死亡に関して選択したC-R Function

影響評価項目	Endpoint	C-R Function (論文)	年齢 (歳)	濃度データの処理	健康影響係数: β	注意事項	関数型	原著論文の記載
死亡	呼吸器系疾患による死亡 (長期)	Jerrett et al., 2009	33-99	1 時間日最大値の年平均値	0.003922	86 Urban Areas. PM _{2.5} との 2 Pollutant Model	Log-linear	10ppb の相対リスク: 1.04
		Levy et al., 2005	0-99	1 時間日最大値(配列)	0.000843	US and non-US. メタ解析	Log-linear	10 μ g/m ³ の % Change: 0.43
	事故死以外の死亡 (短期)	Bell et al., 2005	0-99	日平均値(配列)	0.0015	US and non-US. メタ解析	Log-linear	10ppb の % Change: 1.5
		Ito et al., 2005	0-99	1 時間日最大値(配列)	0.0004	メタ解析	Log-linear	10ppb の % Change: 0.4
	心肺疾患による死亡 (短期)	Ito et al., 2005	0-99	日平均値(配列)	0.00175	温暖期. メタ解析	Log-linear	20ppb の % Change: 3.5
		Bell et al., 2004	0-99	日平均値(配列)	0.00052	95 US Cities. 1 年中	Log-linear	10ppb の % Change: 0.52
		Bell et al., 2004	0-99	日平均値(配列)	0.00039	95 US Cities. 温暖期	Log-linear	10ppb の % Change: 0.39
		Bell et al., 2006	0-99	日平均値(配列)	0.00032	98 US Cities	Log-linear	10ppb の % Change: 0.32
		Bell et al., 2007	0-99	日平均値(配列)	0.00032	98 US Cities	Log-linear	10ppb の % Change: 0.32
		Bell and Dominici, 2008	0-99	日平均値(配列)	0.00052	98 US Cities	Log-linear	10ppb の % Change: 0.52
		Schwartz 2005	0-99	1 時間日最大値(配列)	0.00037	14 US Cities. 温暖期	Logistic	10ppb の % Change: 0.37
		Zannobetti and Schwartz 2008	0-99	8 時間日最大値(配列)	0.0003	48 US Cities. 温暖期	Logistic	10ppb の % Change: 0.3
		Huang et al., 2005	0-99	日平均値(配列)	0.00125	19 US Cities. 温暖期	Log-linear	10ppb の % Change: 1.25

表 1.2-12 O₃ に起因する入院及び救急受診に関して選択した C-R Function

影響評価項目	Endpoint	C-R Function (論文)	年齢 (歳)	濃度データの処理	健康影響係数: β	注意事項	関数型	
入院：呼吸器疾患	全呼吸器系疾患	Schwartz 1995	65-99	日平均値(配列)	0.002652	New Haven CT。温暖期。	Log-linear	
		Schwartz 1995	65-99	日平均値(配列)	0.007147	Tacoma WA。温暖期。	Log-linear	
		Burnett et al. 2001	0-1	1時間日最大値(配列)	0.007301	Toronto CAN。温暖期。	Log-linear	
	慢性肺疾患 (COPD)	Moolgavkar et al., 1997	65-99	日平均値(配列)	0.0028	Minneapolis MN。	Log-linear	
		Schwartz 1994a	65-99	日平均値(配列)	0.005523	Detroit MI。	Log-linear	
		Moolgavkar et al., 1997	65-99	日平均値(配列)	0.0038	Minneapolis MN。	Log-linear	
	救急受診：呼吸器疾患	喘息	Schwartz 1994a	65-99	日平均値(配列)	0.00521	Detroit MI。	Log-linear
			Schwartz 1994b	65-99	日平均値(配列)	0.003977	Minneapolis MN。	Log-linear
			Peel et al., 2005	0-99	8時間日最大値(配列)	0.000870	Atlanta GA。	Log-linear
			Wilson et al., 2005	0-99	8時間日最大値(配列)	0.003	Portland ME。	Log-linear

2 関東を対象とした人体健康影響評価

2.1 関東に対する人体健康影響評価結果及び考察

2.1.1 関東に対する人体健康影響評価結果

2020年における関東域を対象として、ECAを設定した場合(A3)にベースラインに対する船舶寄与分が、ECAを設定しなかった場合(A0シナリオ)のベースラインに対する船舶寄与分に比較して、どのように減少するかを計算する。

C-R Functionの選択によって、その減少分は大きく変化するため、表1.2-7から表1.2-12に示したスクリーニング後のC-R Functionのうち、以下のように、代表的なC-R Functionを一つに選択した。本編で記載されている数値は、ここで選択した単一のC-R Functionにより計算されている。なお、選択されたC-R Functionの原論文では、たとえば相対リスク増加率(RR)が95%信頼区間幅をもって表示されているが、本編においては、代表値のみを示した。代表的なC-R Functionの誤差の解析については、本編パラグラフ1.5.4を参照されたい。

- SO₂に起因する疾病に関しては、エンドポイントとしてはベースライン疾病率の大きい全呼吸器疾患を選択し、C-R FunctionとしてはECA設定による差異を最も大きく評価するFung et al. (2006)を選択した。
- PM_{2.5}に起因する死亡に関しては、全死亡をエンドポイントとするPope et al. (2002)のC-R Functionを選択した。これは、PM_{2.5}に起因する全死亡をエンドポイントとするC-R Functionの中で、ECA設定による差異を最も小さく評価する。米国のECA申請書の技術支援文書においては最もconservativeなC-R Functionとして取り上げられており、これを使ってもECA設定による人体健康に対するインパクトは明確に存在するとされている。また、欧州におけるPM_{2.5}に起因する平均余命の変化の評価においても評価においてもPope et al. (2002)のC-R Functionが使用されている。さらに、パラグラフ1.2.4(2)に示した後継研究をみてもβ値として整理した場合、Pope et al. (2002)の値が最も小さくなる。このため、本報告書ではConservativeなPope et al. (2002)のC-R Functionを採用した。
- PM_{2.5}に起因する疾病に関しては、エンドポイントとしては慢性肺疾患を選択し、C-R FunctionとしてはMoolgavkar (2003)を選択した。ECA設定による差異はMoolgavkar (2000a)とIto (2003)の中間と評価される。
- NO₂に起因する疾病に関しては、エンドポイントとしてはベースライン疾病率の大きい全呼吸器疾患を選択し、C-R FunctionとしてはECA設定による差異を最も大きく評価するFung et al. (2006)を選択した。

- O₃ に起因する死亡に関しては、事故死以外の死亡をエンドポイントとする Bell et al. (2004) の C-R Function を選択した。米国の ECA 申請書の技術支援文書においては最も conservative な C-R Function として取り上げられており、これを使っても ECA 設定による人体健康に対するインパクトは明確に存在するとしているとされている。また、パラグラフ1.2.4(4)で追加された Bell et al. (2004)の後継研究とされている Bell et al. (2006) 及び Bell et al. (2007) の C-R Function を用いると、死亡者数の減少数は Bell et al. (2004) を用いた場合の約 82%とより小さく計算される。しかし、これらの後継研究に関しての BenMAP 内における評価がなされていないこともあり、本報告書では最新の BenMAP Version 4.0.67 に登録されている最も Conservative な Bell et al. (2004) の C-R Function を採用した。将来の再検討においては、この点 C-R Function の再選定を行う必要があることには留意が必要である。
- O₃ に起因する疾病に関しては、エンドポイントとしてはベースライン疾病率の大きい全呼吸器疾患を選択し、C-R Function としては ECA 設定による差異を最も大きく評価する Schwartz (1995) を選択した。

その結果のまとめを表 2.1-1に、その死亡者の減少数の水平分布図を図 2.1-1～図 2.1-2に示す。

表 2.1-1の「死亡、疾病の減少数」には選択した C-R Function を採用したときの数値だけではなく、その 95%信頼度に相当する幅も記載した。その根拠は以下の通りである。

- SO₂ に起因する全呼吸器疾患：Fung et al. (2006) 記載の相対リスクは「SO₂ 濃度差 2.5 ppb あたり 1.044 (95%信頼度区間は 1.018～1.070) 」である。
- PM_{2.5} に起因する全死亡：Pope et al. (2002) 記載の相対リスクは「PM_{2.5} 濃度差 10 µg/m³ あたり 1.06 (95%信頼度区間は 1.02～1.11)」である。
- PM_{2.5} に起因する慢性肺疾患：BenMAP 記載の Moolgavkar (2003) の β の値は 0.00185、標準偏差は 0.000524 である。95%信頼度区間は標準偏差の約 2 倍に相当する。
- NO₂ に起因する全呼吸器疾患：Fung et al. (2006) 記載の相対リスクは「NO₂ 濃度差 5.431 ppb あたり 1.018 (95%信頼度区間は 1.000～1.037) 」である。
- O₃ に起因する事故死以外の全死亡：Bell et al. (2004) 記載の相対リスクは「O₃ 濃度差 10 ppb あたり 1.0039 (95%信頼度区間は 1.0013～1.0065)」である。
- O₃ に起因する全呼吸器疾患：Schwartz (1995) 記載の相対リスクは「O₃ 濃度差 50 µg/m³ あたり 1.20 (95%信頼度区間は 1.06～1.37)」である。

表 2.1-1 2020 年における ECA を設定した場合の関東域における人体健康影響評価のまとめ

大気汚染物質	エンドポイント	C-R Function (論文)	年齢 (歳)	濃度データの処理	健康影響係数: β	調査対象(地域、季節)	計算領域内の対象人口 (人)	ベースライン死亡者、疾病者数(人)	ベースライン死亡率、疾病率	死亡、疾病の減少数(人) (0内は95%信頼区間相当)	ベースラインに対する割合
SO ₂	入院	Fung et al., 2006	65-99	日平均値 (配列)	0.017224	Vancouver, Canada	11,900,000	53,000	0.444%	157 (64~250)	0.296%
	死亡	Pope et al., 2002	30-99	年平均値	0.005827	51 Cities.	32,700,000	518,000	1.584%	281 (94~515)	0.054%
PM _{2.5}	入院	Moolgavkar 2003	65-99	日平均値 (配列)	0.00185	Los Angeles CA.	11,900,000	15,000	0.126%	2.63 (1.14~4.12)	0.018%
	入院	Fung et al., 2006	65-99	日平均値 (配列)	0.003285	Vancouver, Canada	11,900,000	53,000	0.444%	9.65 (0~19.8)	0.018%
NO ₂	死亡	Bell et al., 2004	0-99	日平均値 (配列)	0.00039	98 US Cities. 温暖期	43,600,000	493,000	1.130%	12.8 (4.3~21.3)	0.003%
	入院	Schwartz 1995	65-99	日平均値 (配列)	0.007147	Tacoma WA. 温暖期	11,900,000	53,000	0.444%	24.8 (7.4~45.9)	0.047%

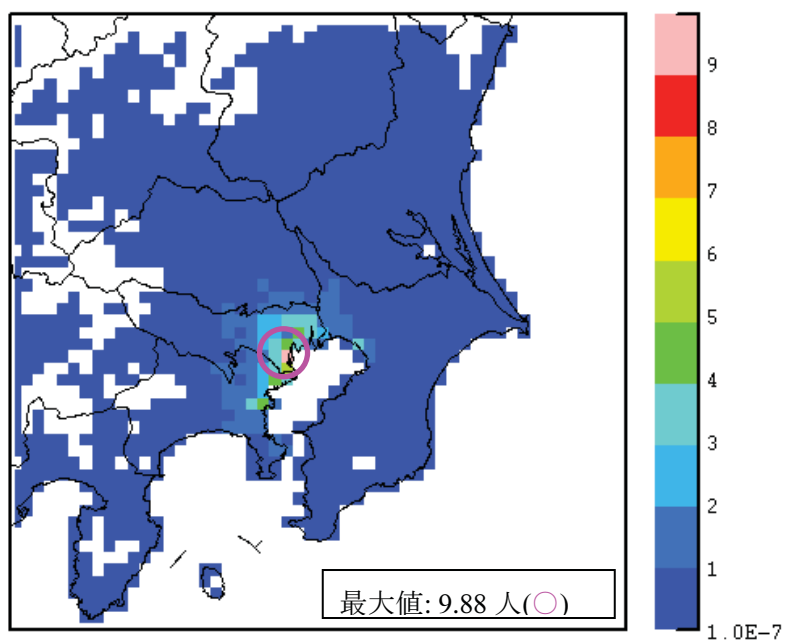


図 2.1-1 A3 シナリオ (ECA for S & ECA for N) 導入時の PM_{2.5} に起因する全死亡の減少数の水平分布 (C-R Function は Pope et al.,2002 による。閾値なし)

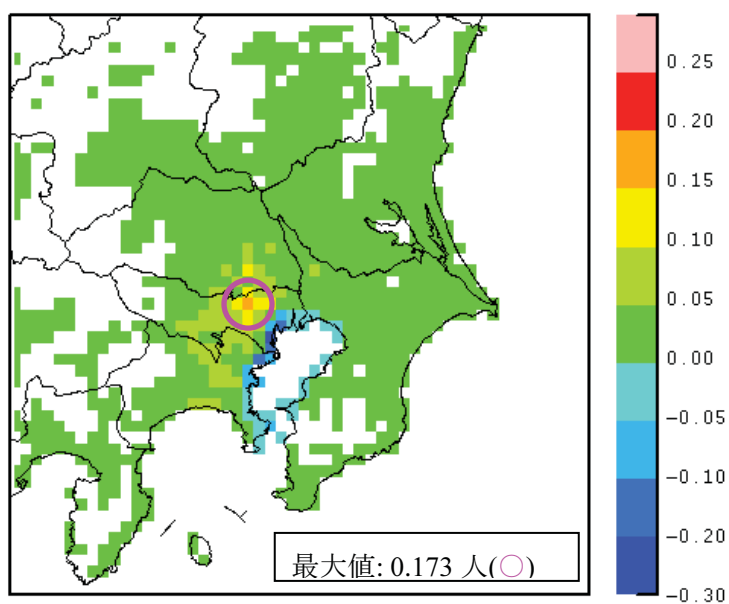


図 2.1-2 A3 シナリオ (ECA for S & ECA for N) 導入時の O₃ に起因する事故死以外の死亡の減少数の水平分布 (C-R Function は Bell et al., 2004 による)

2.1.2 関東に対する評価結果の考察

ECA for S 設定によって期待できる SO_2 に起因する疾病の減少と $\text{PM}_{2.5}$ に起因する疾病数の減少との比較、及び ECA for N 設定によって期待できる NO_2 に起因する疾病の減少と O_3 に起因する疾病数の減少との比較を行った。 SO_2 及び NO_2 に起因する死亡は算定できないので、ECA for S 設定によって期待できる SO_2 に起因する死亡の減少数と $\text{PM}_{2.5}$ に起因する死亡の減少数との比較、及び ECA for N 設定によって期待できる NO_2 に起因する死亡の減少数と O_3 に起因する死亡の減少数との比較はできない。また、ECA を設定した場合 (A3) にベースラインに対する船舶寄与分が、ECA を設定しなかった場合 (A0 シナリオ) のベースラインに対する船舶寄与分に比較して、どのように減少するかを評価したもののなので、ECA for S と ECA for N の比較は行わない。

(1) ECA for S 設定で期待できる SO_2 と $\text{PM}_{2.5}$ の疾病数変化の比較

2020 年の関東域において、 SO_2 に関連した全呼吸器疾患による入院者数は Fung et al., 2006 の C-R Function を用いた場合、A3 シナリオ下で年間 157 人減少する。これはベースラインの入院者数の 0.296% である。これに対して、 $\text{PM}_{2.5}$ に関連した慢性肺疾患による入院者数は Moolgavkar 2003 によると年間 2.63 人減少する。これはベースラインの入院者数の 0.018% である。

$\text{PM}_{2.5}$ に関連した全呼吸器疾患による入院者の変化を求めるための C-R Function は BenMAP には登録されていない。一方、 SO_2 に関連した慢性肺疾患による入院者数を求めるための C-R Function としては Yang et al. 2005 が登録されている。年齢範囲、濃度データの処理方式、C-R Function の関数形の全てが、全呼吸器疾患をエンドポイントとする Fung et al., 2006 と全く同じであり、相違はエンドポイントと β 値のみである。現在問題にしている関東領域では SO_2 の濃度差は最大でも 10ppb 未満であり、Log Linear 関数はほぼ線型と見なしてよいので、 β 値の比率 (0.024164/0.017224) をかければ慢性肺疾患による入院者数の減少分のベースラインの入院者数に対する比率が得られると考えてよい。 SO_2 に関連した慢性肺疾患による入院者数の減少分は 0.415% となる。

以上の検討から ECA for S 設定 (A3 シナリオ) で期待できる慢性肺疾患患者数の減少は、 $\text{PM}_{2.5}$ の大気環境改善に起因する数より、 SO_2 の大気環境改善によるものの方がはるかに大きいとすることができる。

表 2.1-2 A2 シナリオ及び A3 シナリオ下における SO₂ と PM_{2.5} の疾病数の変化の比較

大気汚染物質	シナリオ	エンドポイント	ベースライン	ベースラインに対する削減割合	
SO ₂	A3	全呼吸器疾患	53,000	0.296%	表 2.1-1参照
SO ₂	A3	慢性肺疾患	15,000	0.415%	上記参照
PM _{2.5}	A3	慢性肺疾患	15,000	0.018%	表 2.1-1参照

(2) ECA for N 設定で期待できる NO₂ と O₃ の疾病率の比較

A3 シナリオ下では、2020 年の関東域において、NO₂ に関連した全呼吸器疾患による入院者数は Fung et al., 2006 の C-R Function によると 9.65 人減少する。これはベースラインの入院者数の 0.018% である。これに対して、O₃ に関連した全呼吸器疾患による入院者数は Schwartz 1995 によると 24.8 人減少する。これはベースラインの入院者数の 0.047% である。

以上の検討から、ECA for N 設定で期待できる全呼吸器疾患による入院者数の減少は、NO₂ の大気環境改善に起因する数より、O₃ の大気環境改善によるものの方が大きいとすることができる。O₃ 濃度については、都市沿岸部において ECA for N 設定によって O₃ 濃度の上昇が見られるものの、内陸後背部においてはわずかながらも O₃ 濃度の減少が広い範囲で見られることから、それらの住民に対する影響が合計された結果と考える。

2.2 方法論の相違による結果への影響の評価

2.2.1 人体健康影響の算定範囲の限定

各国あるいは国際機関で提唱されている各種の環境基準値はいずれも「それ以下では人体健康影響はない」と確認されている閾値であると明言されているものではない。ここでは、そのことは踏まえたうえで、仮に「環境基準を満足する地域においては、死亡者数や疾病数の増加などの人体健康影響はない」とした場合には人体健康影響の評価にどの程度の影響が出るかを試算してみる。

試算に当たっては、表 2.2-1 のような我が国の環境基準及び WHO 指針値を採用する。具体的には、SO₂ 及び PM_{2.5} については 98 パーセンタイル値が基準値以下の地域、NO₂ については我が国の環境基準に対しては 98 パーセンタイル値が基準値以下の地域、WHO 指針値に対しては年平均値が基準値以下の地域、O₃ については短期的な評価なので 1 時間日最大値あるいは 8 時間日最大値が基準値以下の日については人体健康影響がゼロであると設定した。

表 2.2-1 算定範囲限定に採用する基準値

大気汚染物質	日本の環境基準	WHO 指針値	参考
NO ₂	日平均値： 40ppb	年平均値： 22ppb	<日本> 日平均値：40～60ppb <WHO> 1 時間日最大値：200μg/m ³ （約 110ppb）、 年平均値：40μg/m ³ （約 22ppb）
O ₃	1 時間日最大 値：60ppb	8 時間日最大 値：50ppb	<日本> 1 時間日最大値：60ppb <WHO> 8 時間日平均値：100μg/m ³ （約 50ppb）
SO ₂	日平均値： 40ppb	日平均値： 7.5ppb	<日本> 1 時間日最大値：100ppb、日平均値：40ppb <WHO> 日平均値：20μg/m ³ （約 7.5ppb）
PM _{2.5}	日平均値： 35μg/m ³	日平均値： 25μg/m ³	<日本> 日平均値：35μg/m ³ 、年平均値：15μg/m ³ <WHO> 日平均値：25μg/m ³ 、年平均値：10μg/m ³

なお、平成 23 年度の PM_{2.5} 及び O₃ に起因する人体健康影響評価に関して BenMAP Version 4.0.35 に登録されている C-R Function の原著論文においてはいずれも閾値を設定していないことがわかった。しかし、BenMAP においては、これらの原論文を基にしているにもかかわらず、閾値が存在するとしており、この際、C-R Function の β 値を BenMAP 内で調整している。このように、前バージョンの BenMAP は原著論文にない内部調整を行っている部分があり、その背景が十分に説明されていない。

今回、平成 23 年度のように BenMAP を用いないで、独自の計算ツールを整備した一つの原因はここにある。本事業では C-R Function の β 値は変えないで、閾値が存在するとしたらどの程度の違いが現われるかを確認してみることにした。実際最新の BenMAP Version 4.0.67 では上記のようなやり方で β 値を調節した C-R Function はすべて削除されている。

計算結果を表 2.2-2 に示す。

NO₂ については、我が国の環境基準に対しては 98 パーセンタイル値が基準値以下の地域、WHO 指針値に対しては年平均値が基準値以下の地域については人体健康影響がゼロであると設定した。その結果、標準計算では A3 シナリオを適用すると A0 シナリオと比較して NO₂ に起因する全呼吸器疾患による入院者数の減少数は関東域で 9.65 人であったものが、日本の基準値以下の地域では影響なしとした場合には 3.23 人に、WHO 指針値以下の地域では影響なしとした場合には 3.45 人と、約 3 分の 1 になった。これは日本の基準値あるいは WHO 指針値以下の地域がかなり多かったからであると言える。

O₃ については、日本の基準値の場合には、1 時間日最大値が基準値以下では人体健康影響はゼロ、WHO 指針値では 8 時間日最大値が指針値以下では人体健康影響がゼロであると設定した。両者は適用する C-R Function が異なるので、別々に比較した。その結果、標準計算では A3 シナリオを適用すると A0 シナリオと比較して O₃ に起因する事故死以外の死亡者数の減少数は関東域で 11.0 人であったものが、日本の基準値以下では影響なしとした場合には 9.4 人になった。また、WHO 指針値以下では影響なしとした場合には、標準計算で 8.0 人であったものが、7.0 人になった。

SO₂ については、日平均値の 98 パーセンタイル値が我が国の環境基準値あるいは WHO 指針値以下の地域については人体健康影響がゼロであると設定した。その結果、標準計算では A3 シナリオを適用すると A0 シナリオと比較して SO₂ に起因する全呼吸器疾患による入院者数の減少数は関東域で 157 人であったものが、日本の基準値以下の地域では影響なしとした場合にはゼロになった。これはすべての地域において SO₂ の日平均値の 98 パーセンタイル値が 40ppb 以下で日本の基準値以下だったからである。また、WHO 指針値以下の地域では影響なしとした場合には 94.2 人と、約 60% になった。

PM_{2.5} については、日平均値の 98 パーセンタイル値が我が国の環境基準値あるいは WHO 指針値以下の地域については人体健康影響がゼロであると設定した。その結果、

標準計算では A3 シナリオを適用すると A0 シナリオに比較して PM_{2.5} に起因する全死亡者数の減少数は関東域で 281 人であったものが、日本の基準値以下の地域では影響なしとした場合には 229 人に、WHO 指針値以下の地域では影響なしとした場合には 278 人と、あまり大きくは変わらなかった。これは日本の基準値あるいは WHO 指針値以下の地域が非常に少ないからであると言える。

表 2.2-2 環境基準値を満足する地域では人体健康影響無しとした場合の評価のまとめ (A3 と A0 の差分)

大気汚染物質	エンドポイント	C-R Function (論文)	年齢 (歳)	濃度 データの処理	健康影響係数: β	調査対象 (地域、季節)	計算領域内の対象人口 (人)	ベースライン死亡者、疾病者数(人)	ベースライン死亡者、疾病率	計算ケース	死亡者数の減少分(人)	ベースラインに対する割合	
NO ₂	入院	Fung et al., 2006	65-99	日平均値(配列)	0.003285	Vancouver, Canada	11,900,000	53,000	0.00444	標準	9.65	0.0182%	
											日本の環境基準	3.23	0.0061%
											WHO 指針値	3.45	0.0065%
O ₃	死亡	Ito et al., 2005	0-99	1 時間日最大値(配列)	0.0004	メタ解析	43,600,000	493,000	0.01130	標準	11.0	0.0022%	
											日本の環境基準	9.4	0.0019%
		Zannobetti and Schwartz 2008	0-99	8 時間日最大値(配列)	0.0003	48 US Cities. 温暖期	43,600,000	493,000	0.01130	標準	8.0	0.0016%	
SO ₂	入院	Fung et al., 2006	65-99	日平均値(配列)	0.017224	Vancouver, Canada	11,900,000	53,000	0.00444	標準	157	0.296%	
											日本の環境基準	0	0
											WHO 指針値	94.2	0.188%
PM _{2.5}	死亡	Pope et al., 2002	30-99	年平均値	0.005827	51 Cities.	32,700,000	518,000	0.01584	標準	281	0.054%	
											日本の環境基準	229	0.044%
											WHO 指針値	278	0.054%

2.2.2 O₃による短期影響評価の処理ロジックの検討

平成 23 年度の検討より、BenMAP における短期影響評価の処理において、以下 2 点の問題が確認されている。

- ・ 365 日の 1 日毎の汚染物質濃度は異なるにも拘らず、ベースライン死亡率は 365 日に対して同一の値しか設定できない。
- ・ 通年に対する算定を行うため、温暖期限定の C-R Function に対しても 1 年を通した評価しか実施できない。

これらに対しては以下のように対応する案がある。代表的な例を用いて、これらの方法適用時に結果にどの程度の影響が出るかを評価した。

- ・ ベースライン死亡率における日変動を考慮する計算アルゴリズム
 ベースライン死亡率を 365 日すべて一定とする方法を改善するためには、以下のような 2 つの方法が考えられる (a 及び b)。下記 2 つの手法による結果を算定し、それらの違いを確認する；

- a) 人口動態調査には主な死因別に月毎のベースライン死亡者総数（年齢層別にはなっていない）が記載されている。これを利用して、下記式のように死因別・年齢層別・都道府県別の年間ベースライン死亡者数を月毎に配分する。

$$\Delta R = \sum_{m=1}^{12} \sum_{i=1}^{Day_m} \left(1 - \frac{1}{Exp(\beta * \Delta C_i)} \right) * \frac{Incidence_m * Population}{Day_m}$$

- b) 評価に使用する C-R Function を使って、365 日の 1 日毎の汚染物質濃度をベースにして、下記式のように年間ベースライン死亡者数を 1 日毎に配分する。

$$\Delta R = \sum_{i=1}^{365} \left(1 - \frac{1}{Exp(\beta * \Delta C_i)} \right) * Incidence_i * Population$$

$$Incidence_i = Incidence_{ave} + \left(1 - \frac{1}{Exp(\beta * \Delta C_{baseline,i})} \right)$$

$$Incidence = \sum_{i=1}^{365} Incidence_i$$

$$\Delta C_{baseline,i} = C_{baseline,i} - C_{baseline,ave}$$

- ・ 評価の対象とする期間を限定する計算アルゴリズム
 評価期間を 1 年と固定するのではなく、C-R Function の特性（温暖期限定など）や O₃ の高濃度時期に着目した死亡者数の算定を行った。

結果を表 2.2-3に示す。

A3 シナリオを適用した場合の A0 シナリオに比較しての O₃ に起因する事故死以外の死亡者数の減少数を見ると、ベースライン死亡率を年間通して一定とした標準ケースの 12.8 人が、ベースライン死亡率に月変動を導入したケースでは 12.5 人とほとんど変わらなかった。ベースライン死亡率は一般に寒冷期に高いので、単位 O₃ 濃度改善あたりの死亡者数の減少の程度も寒冷期の方が温暖期よりは高く評価されることになり、これは適切とは言えない。

一方、ベースライン死亡者数に日変動を導入したケースでは、9.89 人と約 80% 程度になった。計算結果に多少の差は見られたと言えるが、ベースライン死亡率に日変動を導入する方法は全く新規なものであり検証されていないものであることを考慮すると、本事業において標準ケースに代替するほどの必然性は小さいと言える。

また、極めて単純ではあるが、温暖期である 4 月～9 月までだけの評価をしたところ 17.8 人と標準ケースより増加した。これは、評価から除外した 1 月～3 月、10 月～12 月の寒冷期においては A3 シナリオの日平均値が A0 シナリオよりも高くなる日が多かったので、標準ケースにおいてはその分のマイナスで温暖期の改善分が相殺されたものと考えられる。寒冷期においてはいずれのシナリオの場合でも O₃ 濃度はかなり低くなっていると考えられるので、その期間の人体健康影響はあまりないとし、算定範囲を限定しないのであれば、温暖期限定の評価をする方が適切なのではないかと考えられる。

表 2.2-3 O₃による短期影響の評価方式を変更した場合 (A0 と A3 の差分)

大気汚染物質	エンドポイント	C-R Function (論文)	年齢 (歳)	濃度データの処理	健康影響係数: β	調査対象 (地域、季節)	計算領域内の対象人口 (人)	ベースライン死亡者、疾病患者数(人)	ベースライン死亡者、疾病率、疾病率	計算ケース	死亡者数の減少分 (人)	ベースラインに対する割合
O ₃	死亡	Bell et al., 2004	0-99	日平均値 (配列)	0.00039	98 US Cities. 温暖期	43,600,000	493,000	0.01130	標準	12.8	0.003%
	事故死以外の死亡									ベースライン死亡者を1月毎に	12.5	0.003%
										ベースライン死亡者を1日毎に	9.89	0.002%
										4月～8月のみ	17.8	0.004%

2.2.3 O₃による昼間の影響に焦点を当てた評価方法の検討

O₃の人体健康影響を評価するには、O₃濃度として日平均値や1時間日最大値よりは8時間日最大値を使う方が適切であるとする見解がある。平成23年度の評価においては、8時間日最大値を指標とした原著論文は見当たらず、BenMAPに登録されているのはBenMAP側で対象地域のO₃濃度の統計分布(日平均値と8時間日最大値の関係式)を使って8時間日最大値に対応するβ値に相当する値を変換して求めているものであることから、採用しなかった。しかし、BenMAPの最新バージョン4.0.67においては原著論文で8時間日最大値に対するβ値を記載したものがあつた。ここでは、同一のC-R Functionに関して両者でどの程度の差異が見られるか、評価してみた。

なお、8時間日最大値を使用するのであれば、夜間人口ではなく昼間人口を使用する方が適切と考えられるので、今回は両C-R Functionの適用に当たり、夜間人口と昼間人口とを使用した場合の差異についても考察した。

結果を表2.2-4に示す。

A3シナリオ(ECA for S and ECA for N)を適用した場合のA0シナリオに比較してのO₃に起因する事故死以外の死者数の減少率を見ると、日平均値を使った場合には昼間人口を使うと夜間人口を使った場合の約87.4%、8時間日最大値を使った場合には昼間人口を使うと夜間人口を使った場合の約72.0%と少なくなった。これは、人口の多い都市部において昼間人口はベースライン死亡率の比較的低い若年層が多くなっていること、及び、人口の多い都市部の海岸に近い地域においてECA導入によるNO_xとの消滅反応の縮小によってO₃濃度がA0シナリオより高くなっている日が多く、昼間人口を使った場合には関東域全体のECA導入による改善分を夜間人口を使った場合より強く打ち消していることによると考えられる。

表 2.2-4 O₃による昼間の影響に焦点を当てた評価方式に変更した場合 (A0 と A3 の差分)

大気汚染物質	エンドポイント	C-R Function (論文)	年齢 (歳)	濃度データの処理	健康影響係数: β	調査対象 (地域、季節)	計算ケース	計算領域内の対象人口 (人)	ベースライン死亡者数、疾病者数(人)	ベースライン死亡者数、疾病率	死亡者数の減少分(人)	ベースラインに対する割合
O ₃	死亡	事故死以外の死亡	0-99	日平均値 (配列)	0.00039	98 US Cities. 温暖期	標準(夜間人口)	43,600,000	493,000	0.01130	12.8	0.0003%
							昼間人口	46,700,000	529,000	0.01130	11.1	0.0002%
	死亡		0-99	8時間日最大値 (配列)	0.0003	48 US Cities. 温暖期	標準(夜間人口)	43,600,000	493,000	0.01130	8.01	0.0002%
							昼間人口	46,700,000	529,000	0.01130	5.77	0.0011%

3 欧米との比較の方法

日米欧の ECA 設定の効果を以下の指標を使って比較した。

- ・ 陸上の環境改善効率指標（排出削減努力量当たりの $\sum(\Delta \text{濃度} \times \text{人口})$ ）
- ・ 排出削減量当たりの死亡者の減少数

このときの評価方法について説明する。説明の都合上、後者を先に説明する。

3.1 ECA for Nに関する比較

3.1.1 NO₂ 排出削減量当たりの O₃ による死亡者の減少数の比較

(1) 関東についての評価方法

ECA 設定による死亡者の減少数の評価方法については前章までに記載したとおりである。これを ECA 設定による排出削減量で割って NO₂ 排出削減量当たりの O₃ による死亡者の減少数を求めることができる。

ただし、本事業における地方計算領域の格子解像度は 5km である。これに対し、欧米で使われた大気質シミュレーションモデルの解像度は米国が 12 km、欧州が 50 km となっており、本事業で構築したものよりも粗い解像度となっている。この解像度の違いによって Δ 濃度の頻度分布は変化する。また沿岸付近における人口密度はグリッド内に含まれる海域面積によって変化し得る。そこで、欧米との比較においては、欧米におけるシミュレーション解像度に合わせて、地方計算領域の 5 km 解像度における情報を 10 km あるいは 50km 解像度に換算（濃度は平均、人口は積算）した濃度分布を使用した。

(2) 米国との比較

米国の評価は我が国について今回実施した評価とその手法が共通であり、ECA 設定による排出削減量及びそれに対応する 2020 年における人体健康影響評価結果が ECA 申請書に記載されているので、その数値を使用する（申請書パラグラフ 4.2.1、技術支援文書パラグラフ 4.1）。

比較に当たっては、排出削減量当たりの死亡者の減少数を採用する。死亡者の減少数は数式 1.1-4 で与えられるので、近似的には報告書本文 1.3.3 節で導入した「陸上の環境改善指標」に C-R Function の係数 β 及びベースライン死亡率を掛け合わせたものになっている。したがって、排出削減努力量当たりの死亡者の減少数は、「陸上の環境改善効率指標」に C-R Function の係数 β 及びベースライン死亡率を掛

け合わせたものになっている。

C-R Function としては Bell et al. (2004)、Huang et al. (2005)、Scwartz (2005)、Bell et al. (2005)、Ito et al. (2005)、Levy et al. (2005)による推定値が記載されているが、ここでは日米ともに Bell et al. (2004)を採用した。これを ECA 設定による排出削減量で割って NO₂ 排出削減量当たりの O₃ による死亡者の減少数を求めることができる。

(3) 欧州との比較

欧州との比較は、ECA for N については、北海における ECA for N の設定は「環境上有効である」と主張している（ただし、経済的要因の考慮から現時点では Pending とされている）PBL による北海 ECA for N 検討レポートに記載されている ECA for N 設定による排出削減量及びそれに対応する 2030 年における人体健康影響評価結果を使用する（パラグラフ 3.2）。このときどの評価関数を適用したのかが記載されていないので、Bell et al. (2004) の C-R Function を使ったものと仮定した。したがって、米国との比較よりは逆推定のための作業時に新たに発生する不確かさは大きい。

3.1.2 NO_x 排出量削減に関わる陸上の環境改善効率指標の比較

(1) 関東についての評価方法

ECA 設定による陸上の環境改善指標 ($\sum(\Delta O_3 \text{ 濃度} \times \text{人口})$) を計算して、これを ECA 設定による排出削減量で割って陸上の環境改善効率指標を求めることができる。3.1.1 節で記載したように、本事業における地方計算領域の格子解像度は 5km である。これに対し、欧米で使われた大気質シミュレーションモデルの解像度は米国が 12 km、欧州が 50 km となっており、本事業で構築したものよりも粗い解像度となっている。陸上の環境改善指標は大気中 O₃ 濃度の改善分 (Δ 濃度) に人口分布を乗じることで算定するが、解像度の違いによって Δ 濃度の頻度分布は変化する。また沿岸付近における人口密度はグリッド内に含まれる海域面積によって変化する。そこで、欧米との比較においては、欧米におけるシミュレーション解像度に合わせて、地方計算領域の 5 km 解像度における情報を 10 km あるいは 50km 解像度に換算（濃度は平均、人口は積算）した濃度分布を使用した。

(2) 米国との比較

米国の ECA 申請書には陸上の環境改善指標 ($\sum(\Delta \text{濃度} \times \text{人口})$) を用いた評価に関する記載はない。ただし、米国の ECA 提案書では人体健康影響評価結果として ECA 設定による O₃ に起因する死亡者の減少数が報告されており、その死亡者の減少数の計算方式が明らかなので、陸上の環境改善指標 ($\Delta O_3 \text{ 濃度} \times \text{人口/grid の領域積算値}$ 、

$\Sigma(\Delta O_3 \text{ 濃度} \times \text{人口})$) のある程度確かな逆推計が可能である。

死亡者の削減数の計算は 1.1 節の数式 1.1-4 から、以下のように、近似的には、 $\Delta O_3 \text{ 濃度} \times \text{人口}/\text{grid}$ の領域積算値 ($\Sigma \Delta O_3 \text{ 濃度} \times \text{人口}$) に β 、平均ベースライン死亡率を掛け合わせたものと考えてよい。したがって、死亡者の減少数を β 及び平均ベースライン死亡率で割って $\Sigma \Delta O_3 \text{ 濃度} \times \text{人口}$ を求めることができる。

$$\Delta R = \sum_j \Delta R_j = \sum_j \left(\sum_k \beta * \Delta C_j * Incidence_{j,k} * Population_{j,k} \right)$$
$$\Delta R \cong \left(\sum_j \sum_k \Delta C_j * Population_{j,k} \right) * \beta * Incidence$$

ベースライン死亡率は正確にはグリッドの年齢構成によって異なるが、ここでは、2007 年における全米の年間死亡者総数から外因性の死亡者数を差し引いた値を使った事故死以外の平均ベースライン死亡率を全年齢層に一律に適用して推計した。

これを ECA 設定による排出削減量で割って陸上の環境改善効率指標を求めることができる。

(3) 欧州との比較

欧州でも陸上の環境改善指標 ($\Sigma(\Delta \text{濃度} \times \text{人口})$) を用いた評価に関する記載はない。PBL レポートには人体健康影響評価結果として ECA for N 設定による O_3 に起因する死亡者の減少数が報告されているが、その評価方法が明らかではないので、以下のような多くの仮定を導入して、死亡者の減少数を Bell ら(2004)の C-R Function の計数 β 及び米国の平均ベースライン死亡率で割って陸上の環境改善指標 ($\Sigma(\Delta O_3 \text{ 濃度} \times \text{人口})$) を逆推定した。したがって、欧州に関してはかなり大きな不確かさが含まれる。

- O_3 による死亡者数の評価方式は関東及び米国と同様である。
- C-R Function として関東及び米国と同じ Bell ら(2004)を採用している。
- 平均ベースライン死亡率も米国と同様である。

これを ECA 設定による排出削減量で割って陸上の環境改善効率指標を求めることができる。

3.2 ECA for Sに関する比較

3.2.1 PM 排出削減努力量当たりのPM_{2.5}による死亡者の減少数

(1) 関東についての評価方法

3.1.1 節の(1)と同様である。

(2) 米国との比較

3.1.1 節の(2)と同様である。C-R Function としては Pope et al. (2002)、Laden et al. (2006)及び Woodruff et al. (1997)による推定値が記載されているが、ここでは日米ともに Pope et al. (2002) を採用した。

これを ECA 設定による排出削減量で割って PM 排出削減努力量当たりの PM_{2.5}による死亡者の減少数を求めることができる。

(3) 欧州との比較

欧州との比較は、PBL による北海 ECA for N 検討レポートは、ECA for S の設定がベースラインに含まれているので、ECA for S については使えない。そこで、IIASA による各種シナリオ検討レポートを使うこととする。ただし、IIASA レポートは ECA の設定そのものを検討したものではなく、北海、バルト海、地中海、黒海等の欧州全域から北東大西洋を含む広い海域に関して各種の規制を導入した場合の影響を幅広く評価したものであり、「ECA の設定が有効である」と主張しているものではない。そのことを踏まえたうえで、IIASA レポートの中で ECA 設定シナリオに最も近いと考えられる MTFR (技術的に実現可能な最大排出削減 : Maximum Technically Feasible Reduction) シナリオを取り上げる。

IIASA レポートでは PM_{2.5}に起因する人体健康影響を死亡者数ではなく損失余命で評価している。比較のためには、これを死亡者数に換算して評価する必要がある。まず、以下の方法を試みたが、明らかに過大評価となって適切ではないことがわかった。

- ・ 日本における死亡者の減少に対応する損失余命の減少分を概略評価する。日本の平均余命は2011年の生命表⁶から求める。概略の評価なので、日本全国平均の値を使い、男女の平均を取り、さらに5歳刻みに平均を取る。各年齢層毎の死亡者数に平均余命を掛けたものを加え合わせる。
- ・ 損失余命と死亡者数の比率は日欧で同等と仮定して、欧州における損失余

⁶ https://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/GL08020103.do?_toGL08020103_&listID=000001096665&requestSender=dsearch

命を死亡者の減少数に換算する。欧州における EU27 国の人口は約 5 億人とされている⁷ので、Pope ら(2002)の C-R Function が対象としている 30 歳以上の人口をざっと 3.5 億人と考え、欧州の死亡者の船舶寄与を算定する。

そこで、さらに粗い評価であるが、①欧州における 2020 年の船舶からの PM_{2.5} に起因するベースライン死亡者数の全人口に対する比率が日米と同等であると仮定して、欧州における 2020 年の船舶からの PM_{2.5} に起因するベースライン死亡者数を求め、②欧州における 2020 年の損失余命の改善割合が欧州における 2020 年の死亡者数の改善割合と等しいと仮定し、①で求めた欧州における 2020 年の船舶からの PM_{2.5} に起因するベースライン死亡者数に②の損失余命の改善割合をそのまま掛けて、欧州における 2020 年の船舶からの PM_{2.5} に起因する死亡者の減少数を求めた。したがって、この不確かさは非常に大きいものとなっている。

3.2.2 PM 排出量削減に関わる陸上の環境改善効率指標の比較

(1) 関東についての評価方法

3.1.2 節の(1)と同様である。

(2) 米国との比較

3.1.2 節の(2)と同様である。ただし、ベースライン死亡率は正確にはグリッドの年齢構成によって異なるが、ここでは、2007 年における全米の年間死亡者総数を使った平均ベースライン全死亡率を全年齢層に一律に適用して推計した。また、Pope ら(2002)の C-R Function は 30 歳以上を対象としたものである。したがって、30 歳以上の対象地域内の人口及び平均ベースライン死亡率の全人口に対する比率が必要になるが、これらは日本と同様であると仮定した。このため、ECA for S に対する日米の比較は ECA for N に対する日米の比較よりも若干不確かさが大きい。

(3) 欧州との比較

欧州に関しては PM_{2.5} に起因する人体健康影響を評価するに際して C-R Function として Pope ら(2002)を採用していることはほぼ確かであるが、死亡者数ではなく損失余命を評価している。陸上の環境改善効率指標を求めるためには、まず損失余命を死亡者数に換算する必要がある。この方法は 3.2.1 節(3)に記載したように、非常に不確かさが大きいものである。これに加えて、前項(2)に記載したと同様に、①欧州における 2020 年の各年齢層のベースライン死亡率がわからないので、2007 年における

⁷ <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=STAT/11/110&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=en>

全米の年間死亡者総数を使った平均ベースライン全死亡率を全年齢層に一律に適用して推計した。また、②Pope ら(2002)の C-R Function は 30 歳以上を対象としたものなので、30 歳以上の対象地域内の人口及び平均ベースライン死亡率の全人口に対する比率が必要になるが、これらは日本と同様であると仮定した。

生態系影響評価について

1 NOx 乾性沈着量を加えた窒素沈着量の再推計

表 1-1に、日本計算領域での EEZ 境界内側における窒素沈着量の沈着過程別集計値をまとめる。全窒素沈着量に占める NOx (NO+NO₂) 乾性沈着量の割合は、EEZ 境界内側の陸域で見ただけの場合には 3%と僅かであった。また図 1-1には、日本計算領域における全窒素沈着量及び NOx 乾性沈着量の水平分布図による比較を示す。水平分布図からも、NOx 乾性沈着量の範囲及び絶対値は相対的にみて限定的であり、結果として同表に示す昨年度までの硝酸イオンおよびアンモニウムイオンの湿性沈着と HNO₃、NH₃、アンモニウムの乾性沈着に、NOx ガスの乾性沈着を加えた場合でも、ECA for N を考慮すべき海域を更に追加する必要はないと考える。

表 1-1 日本計算領域での EEZ 境界内側における窒素沈着量の沈着過程別集計値
(NOx 乾性沈着量を新たに追加)

	窒素沈着量 (Gg-N/year)		
	陸域	海域	全域
硝酸イオン 湿性沈着量	157 (25%)	823 (37%)	980 (34%)
アンモニウムイオン 湿性沈着量	171 (27%)	724 (32%)	896 (31%)
HNO ₃ 乾性沈着量	106 (17%)	227 (10%)	334 (12%)
NH ₃ 乾性沈着量	109 (17%)	98 (4%)	206 (7%)
硝酸塩 乾性沈着量	58 (9%)	293 (13%)	351 (12%)
アンモニウム塩 乾性沈着量	21 (3%)	65 (3%)	87 (3%)
NOx 乾性沈着量	16 (3%)	1 (0.04%)	16 (1%)
全窒素沈着量	639	2,231	2,870

※ 陸域面積：356,000 km² 及び海域面積：2,493,600 km²

※ カッコ内%値は集計領域毎の全窒素沈着量に占める各沈着過程の割合

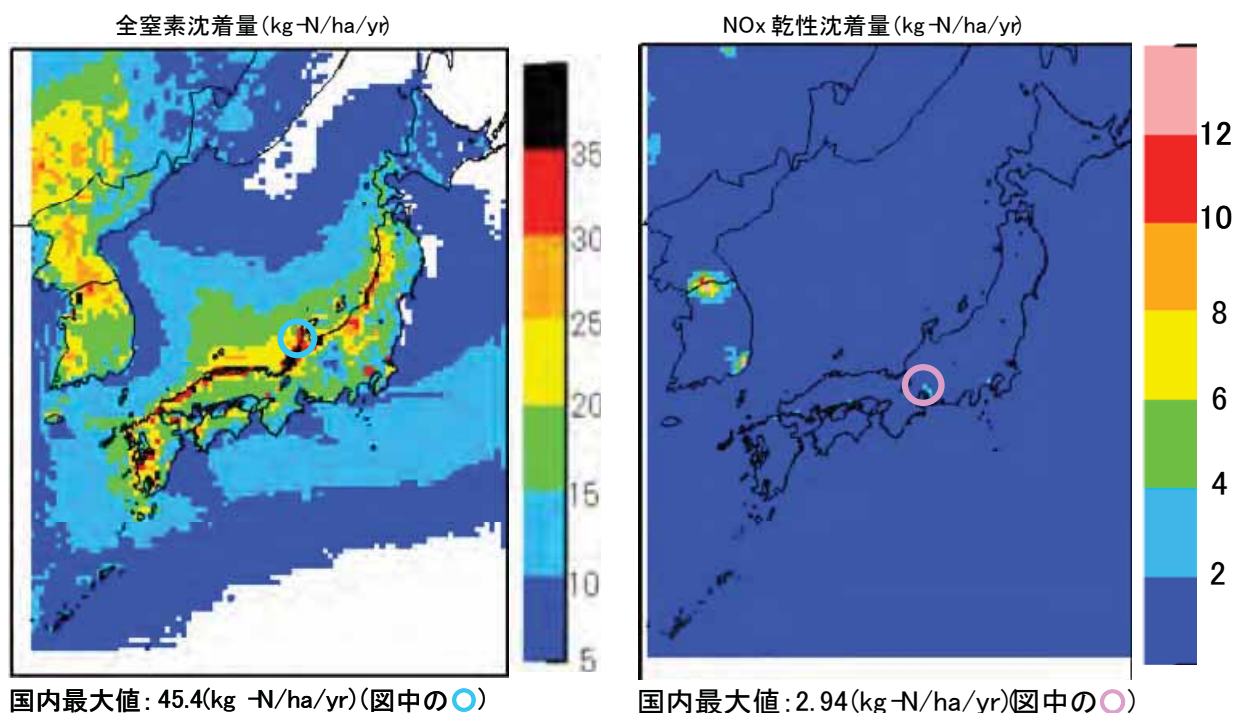


図 1-1 日本計算領域における全窒素沈着量（左図）及び NOx 乾性沈着量の水平分布図による比較 (kg-N ha⁻¹ year⁻¹)

2 沈着量と渓流水中 NO₃⁻濃度の変化

産業革命以降の化石燃料の燃焼やハーバー・ボッシュ法による人工的な窒素の同化（アンモニアの生成）により、地球上の窒素の循環過程は大きく変化し、生態系が必要とする以上の過剰な窒素沈着が及ぼす生態系の「窒素飽和 (Nitrogen Saturation)」もしくは「富栄養化 (Eutrophication)」という概念が定義された。

例えば Fenn and Poth (1998) は、森林生態系における窒素の状態を評価する指標として下記を挙げている。本事業ではこれら指標のうち、大気質シミュレーションより出力される窒素沈着量の情報が利用できる評価指標を検討する必要がある。

- 1) 土壌及び植物葉中 NO₃⁻濃度
- 2) N:P 等の植物葉の組成
- 3) 土壌中 C:N 比
- 4) 渓流水中 NO₃⁻濃度の変化
- 5) 窒素施肥に対する植物反応

Aber et al. (1989) は、陸域生態系における窒素飽和の状況を 4 段階に分けて提示した。また Stoddard (1994) は、各段階に起こりうる渓流水中の NO_3^- 濃度の変化について考察した。それら内容を表 2-1 にまとめる。

表 2-1 陸域生態系における窒素飽和及び渓流水中の NO_3^- 濃度の段階的な変化

	陸域生態系における窒素飽和 (Aber et al., 1989)	渓流水中の NO_3^- 濃度の変化 (Stoddard, 1994)
Stage0	窒素制限状態下における窒素循環の特性が見られる。純一次生産量は、生態系内の有機物の無機化由来の窒素量と植物体の窒素利用効率によって制御されている。	年間を通じて、渓流水中の NO_3^- 濃度は低く、春先の融雪期にわずかなピークが見られる。
Stage1	慢性的な窒素沈着の初期的な影響が見られる。植物葉内の窒素含量や植物葉バイオマスが（一時的に）増大する。	NO_3^- 濃度の季節的变化が明瞭で、春先のピークが拡大する。
Stage2	窒素飽和状態になる。恒常的な植物葉中の窒素含量の増大、耐凍性の低下、硝化の促進、 NO_3^- の土壌から水系への流出、 N_2O 放出の増大、細根や菌根バイオマスの減少が顕在化する。	窒素が多く消費される植物成長期においても NO_3^- 濃度が上昇する。ただし、冬季の濃度よりは低い。
Stage3	森林が衰退する。	植物成長期の NO_3^- 濃度が更に上昇し、季節的变化が失われる。集水域が正味の NO_3^- の流出源となる。

硝化率の促進に伴い大量に生成された NO_3^- は、土壌から地下水を経て、渓流水への流出することが想定されている。米国とカナダのデータをまとめた Castro et al. (2000) によると、窒素の湿性沈着量が多い地点ほど、渓流水または地下水への流出量が多い地点が増えてくることが指摘されている。

例えば Aber et al. (2003) は、図 2-1 に示すような窒素沈着量 (dry+wet) に対する NO_3^- 流出量及び保持量の相関を米国メイン州におけるデータから解析し、窒素沈着量が $7 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ を超えると、渓流水・湖沼水への流出が著しく大きくなることを指摘した。図 1-1 で示した大気質シミュレーションによる窒素沈着量の空間分布を見た場合、殆どの陸域において $7 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ を超過しており、その大きさから考えれば陸域における窒素飽和の顕在化が懸念される。しかしながら、必ずしも窒素沈着量だけで、生態系からの窒素の流出が規定されている訳ではない。更に、わが国の場合、夏季に降水が多く、流量増大時に NO_3^- 濃度が高くなることが比較的頻繁に見られることから、渓流水中の NO_3^- 濃度の季節性だけでは、窒素飽和の段階を評価できない可能性もある。

なお、ECA 設定の有効性を窒素沈着量から検討するに当たり、大気中濃度に対する環境基準値のように、沈着量に対する閾値のようなものを決定することは難しい。米国・カナダの ECA 提案書においても、沈着量に対する評価は図 2-2に示すような船舶寄与率及び ECA 設定による沈着量の変化のみ示されており、沈着量そのものに対する評価は行われていない（総量は CASTNET の観測データを用いて示されている）。

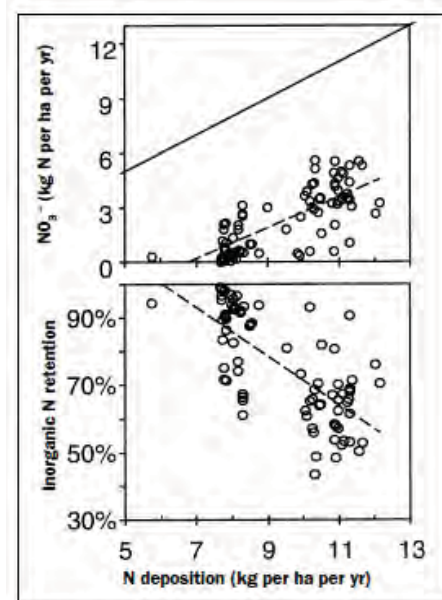


Figure 8. (a) Nitrogen (N) export in stream water increases as N deposition at the base of the watersheds increases above 7 kilograms per hectare per year. Nitrogen export = 0.85 N deposition - 5.8; R² = 0.56, P < 0.001. (b) Watershed N retention decreases as N deposition at the base of the watersheds increases (N retention = -0.07 N deposition + 1.44; R² = 0.50).

図 2-1 窒素沈着量（湿性+乾性；横軸）と渓流水への NO₃流出量（上段縦軸）及び無機態窒素の保持率（下段縦軸）との関係

船舶寄与率

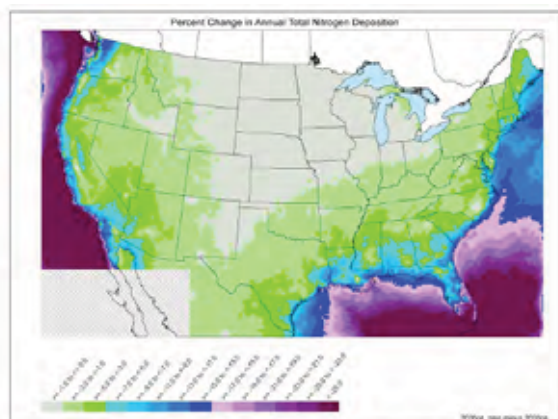


Figure 3.3-15 Percent Contribution in 2020 of Ships to Annual Total Nitrogen Deposition in the U.S.

ECA設定による窒素沈着量の変化



Figure 3.3-16 Percent Change in Annual Total Nitrogen over the U.S. Modeling Domain for the ECA Modeling Scenario.

図 2-2 米国・カナダの ECA 提案書で示された窒素沈着量に対する解析内容

3 窒素沈着に伴う生物多様性の低下

窒素沈着による生態系影響評価の項目として、生物多様性の変化が指摘されている。生態系内での窒素循環の変化は、生物多様性に変化を生じさせると考えられ、上述した硝化率の促進も、微生物相の変化によるものと考えられている。図 3-1はラボ実験の結果であるが、植物種数は、窒素添加量が多くなるほど、少なくなる傾向が指摘されている (Bobbink et al. 2010)。また、実際のフィールドでは、窒素沈着量が多い地点ほど、大型の地衣類 (菌類と藻類の共生体) の割合が減少することが示されている (図 3-2 : ICP Forests 2011)。

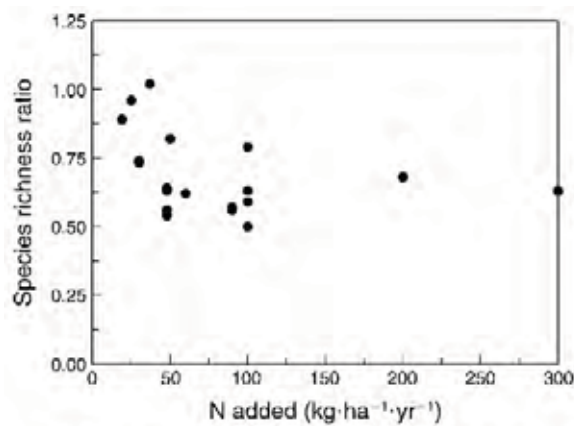


FIG. 2. The species richness ratio (i.e., the ratio of the mean number of plant species in the N-treated vegetation to the mean number in the control) plotted vs. the nitrogen addition in field experiments in dry and wet grassland types across Europe (from Bobbink 2004 [used with permission]).

図 3-1 窒素添加量 (横軸) と植物種数の変動率 (縦軸) との関係 (Bobbink et al. 2010)

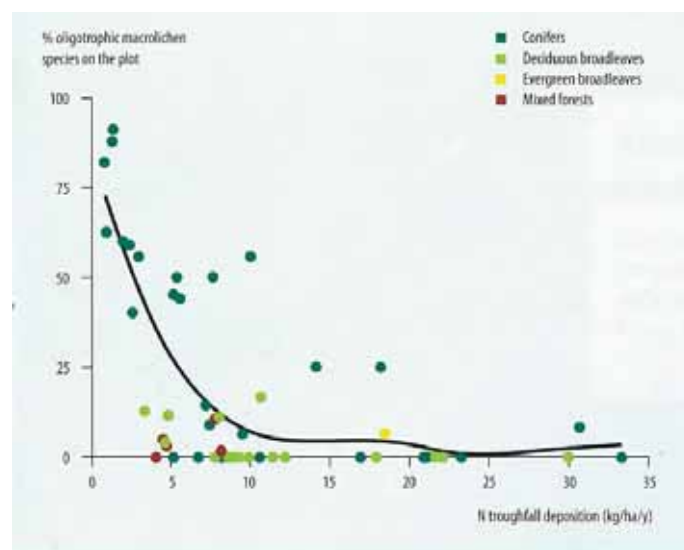


Figure 5-1: Percentage of macrolichen species adapted to nutrient-poor conditions as a function of the nitrogen throughfall deposition at plot level.

図 3-2 窒素沈着量 (林内降水; 横軸) と大型地衣類の割合 (縦軸) との関係 (ICP Forests 2011)

Reference

- Aber, J.D., Nadelhoffer, K.J., Steudler, P., Melillo, J.M., (1989) Nitrogen saturation in northern forest ecosystems. *BioScience*, 39: 378-386.
- Aber, J.D., Goodale, C.L., Ollinger, S.V., Smith, M., Magill, A.H., Martin, M.E., Hallett, R.A., Stoddard, J.L., Participants, N., (2003) Is Nitrogen deposition altering the nitrogen status of northeastern forests? *BioScience*, 53: 375-389.
- Castro, M.S., MorganII, R.P., (2000) Input-output budgets of major ions for forested watershed in western Maryland. *Water, Air, and Soil Pollution*, 119: 121-137.
- Fenn, M.E., Poth, M.A., (1998) Indicators of nitrogen status in California forests. *USDA Forest Service Gen.Tech.Rep. PSW-GTR-166*, 123-130.
- Stoddard, J.L., (1994) Long-term changes in watershed retention of nitrogen. In: Baker, L.A. (Ed.), *Environmental chemistry of lakes and reservoirs. Advances in Chemistry Series. Volume 237.* American Chemical Society, Washington, D.C., USA., pp. 223-284.

この報告書は、ポートレースの交付金による日本財団の助成金を受けて作成しました。

平成24年度 排出規制海域（ECA）設定による大気環境改善効果の
算定事業報告書

平成25年3月発行

発行 海洋政策研究財団（財団法人シップ・アント・オーシャン財団）

〒105-0001 東京都港区虎ノ門3-4-10 虎ノ門35森ビル
TEL 03-5404-6828 FAX 03-5404-6800
<http://www.sof.or.jp>

本書の無断転載、複写、複製を禁じます。

ISBN978-4-88404-299-8