

J_{ARI} R_{esearch} J_{ournal}

2026年
9月号



●一般記事

【調査資料】

[大気汚染物質排出インベントリにおける](#)

[不確実性評価の実務的活用](#)

p. 1～
(9 p)

—国内 PM_{2.5} 排出量データによる簡易例—

富田 幸佳（環境研究部） JRJ20260901

大気汚染物質排出インベントリにおける 不確実性評価の実務的活用*

—国内 PM_{2.5} 排出量データによる簡易例—

Practical Use of Uncertainty Assessment in Air Pollutant Emission Inventories:
A Simplified Example Using Japanese PM_{2.5} Emission Data

富田 幸佳^{*1}

Yukika TODA

排出インベントリは、発生源別の大気汚染物質排出量を推計し、一覧化した基礎資料であり、その算定値には、活動量や排出係数のばらつき、統計誤差、算定上の仮定などに由来する不確実性が伴う。本稿では、算定値に伴う不確実性を評価することにより、排出削減効果の解釈、インベントリ改善の優先順位付けおよびモデル結果の説明に役立つことを述べた。粒径 2.5 μm 以下の微小粒子状物質 (PM_{2.5}) 排出量データによる簡易例から、排出量の大きい発生源区分と不確実性低減の観点から見直し効果が大きい発生源区分は必ずしも一致しないことを示した。

KEY WORDS: 環境・エネルギー・資源, 排出ガス, 政策分析, 排出インベントリ, 不確実性評価, 自動車関連発生源

1. はじめに

大気汚染物質の排出量を削減するには、発生源別の排出量の把握が有用である。その基礎資料として、環境省は「PM_{2.5} 等大気汚染物質排出インベントリ」を整備している¹⁾。環境省では、排出インベントリを「各発生源から排出される大気汚染物質の排出量を、物質別、産業別、燃料別などの区分ごとに整理したデータ」としている¹⁾。具体的には、工場、家庭、農業、道路交通などの発生源について、一定期間に排出されたと推計される大気汚染物質の量を一覧化した資料である。

排出インベントリは、現状を把握するためだけの資料ではない。大気汚染物質の排出抑制を進めるための基礎情報であり、経年変化の把握にも使用される。大気環境を評価するシミュレーションの入力としても用いられ²⁾、環境政策や行政実務を支える情報となっている。そのため、排出インベントリには、算定値そのものに加えて、その値をどの程度の確かさで解釈できるかという情報が求められると考えられる。

公表資料では、大気汚染物質の排出量が、年度別かつ発生源別に一つの算定値として示されることが多い³⁾。本稿では、このように不確実性の幅を併記せず一つの値として示される算定値を「単一の算定値」と呼ぶ。単一の算定値は、排出量の水準を把握し、発生源区分を比較するために有用である。一方で、算定結果が一つの値として示されるだけでは、見かけ上の差がどの程度不確かなものか、どの発生源区分を見直すことで不確実性を効果的に低減できるかを判断しにくい場合がある。この限界を補う方法が不確実性評価である。

本稿は、環境省 PM_{2.5} 等大気汚染物質排出インベントリを対象として、不確実性評価を実務に用いる意義を概説する。その後、単一の算定値だけでは判断が不安定になり得る理由を述べた上で、不確実性評価が政策判断、インベントリ改善の優先順位付け、モデル入力の説明にどのように使えるかを提示する。最後に、自動車由来 PM_{2.5} を対象とする簡易例により、排出量寄与率が大きい発生源区分と、不確実性低減の面で優先すべき発生源区分が必ずしも一致しないことを示す。

* 2026年7月15日受理

*1 一般財団法人日本自動車研究所 環境研究部 博士 (工学)

排出インベントリでは、多くの場合、全ての排出量を直接測定するのではなく、発生源の活動量と、単位活動量あたりの排出量を表す排出係数を組み合わせて排出量を算定する。例えば自動車では、走行距離などを活動量として用い、これに単位走行距離あたりの排出量を表す排出係数を組み合わせて排出量を算定する。工場、家庭、農業などの発生源でも、活動量と排出係数を組み合わせる考え方は共通している。これらの活動量や排出係数には、観測結果、統計資料、既往研究などに基づく値や、算定上の設定・仮定が用いられる。

このような算定過程に含まれるばらつきや仮定は、排出インベントリの算定値に不確実性を生じさせる。活動量の統計には誤差や把握漏れがあり得る。排出係数は、測定条件、機器、地域差、季節差、稼働状況などによって変動する。実際の排出実態は、時間や場所によって一様ではない。しかし、公表値として一つの値に集約されると、算定値に伴う不確実性の大きさは把握しにくくなる。

不確実性を考慮せずに単一の算定値だけを比較すると、見かけ上の差を過大に解釈するおそれがある。ある年の排出量が前年より減少している場合、その差が不確実性の範囲内であれば、明確な減少と断定することは難しい。二つの発生源区分を比較して一方の排出量が大きく見える場合でも、その差の確かさは別途確認する必要がある。単一の算定値は比較の出発点ではあるが、その値だけに基づいて政策判断や改善優先順位付けを行うと、見かけ上の差を過度に解釈するおそれがある。

排出量の大きい発生源区分と、不確実性低減の観点から見直し効果が大きい発生源区分は必ずしも一致しない。これは、排出量の大きさだけで不確実性の大きさが決まるのではなく、活動量や排出係数に含まれる不確実性の大きさも影響するためである。排出量が大きい区分であっても、活動量や排出係数が十分な精度で把握されていれば、算定された排出量を過大または過小に評価する可能性は低いと考えられる。一方、排出量が中程度であっても、活動量の把握が粗い区分や、排出係数のばらつきが大きい区分は、排出インベントリ全体の不確実性を大きくする可能性がある。この違いを、単一の算定値だけから判断することは難しい。

不確実性評価は、算定値に伴う不確実性の大きさを把握し、その算定値をどの程度確かなものとして解釈できるかを示す作業である。その結果から、どの算定結果を比較的確かなものとして説明できるか、どの結果に慎重な解釈が必要かを区別できる。また、各発生源区分の不確実性への寄与を把握することで、不確実性低減の観点から見直し対象となる発生源区分を検討するための情報を得ることができる⁴⁾。

2. 品質管理、品質保証、検証、不確実性評価の役割

排出インベントリの品質を向上させるために、品質管理、品質保証、検証、不確実性評価というそれぞれ異なる役割を担う仕組みがある。これらは、排出インベントリの品質を異なる側面から確認し、相互補完的に機能するものである。表1に、各作業が主に確認する対象、実務上の例および役割の概要を示す。

表1 排出インベントリの品質に関わる主な用語の役割

用語	主に確認すること	実務上の例	主な役割
品質管理 (QC)	算定作業の内部的な誤り	入力値、単位換算、計算式、集計漏れ、重複の確認	単純なミスの防止
品質保証 (QA)	作成手順や結果の妥当性	算定方法の確認、出典管理、変更履歴の記録、担当者以外による確認	作成手順と算定結果の信頼性の確保
検証	外部情報との整合性	観測結果、過去の推移、関連統計、別手法との比較	外部情報との整合性の確認
不確実性評価	算定値の幅と解釈の確かさ	活動量や排出係数のばらつきの整理、排出量への影響の見積もり	算定結果の解釈と見直し候補の比較

以下では、品質管理、品質保証、検証、不確実性評価の各作業について、その役割を順に説明する。品質管理（QC: Quality Control）は、算定作業の内部で実施し、排出量の算定過程で生じる単純な誤りを低減するための基本的な点検プロセスである。具体的には、活動量や排出係数の入力、単位換算、計算方法、発生源区分ごとの集計について、誤り、漏れ、重複がないかを確認する。

品質保証（QA: Quality Assurance）は、排出インベントリの作成手順や算定結果の妥当性を確認するための活動である。具体的には、算定方法が目的と整合しているか、活動量や排出係数の選定が適切か、作業手順や変更履歴が記録されているか、必要に応じて算定担当者以外による確認が行われているかなどを確認する。QA は、個別の計算ミスだけでなく、排出インベントリ全体が説明可能な手順に基づいて作成されているかを確認する役割を持つ。

検証は、排出インベントリの算定値について、当該算定とは独立した情報との整合性を確認する作業である。具体的には、観測結果、別手法による算定結果、過去の排出量の推移、関連する統計などと比較し、算定値の水準や傾向を説明できるかを確認する。検証は、排出インベントリの外側にある情報を用いて、算定結果の整合性を確認する作業である。

不確実性評価は、算定値にどの程度の幅があり得るかを見積もり、その幅の情報を解釈と改善に利用する作業である。QC、QA、検証は、誤りの有無、作成手順の妥当性、当該算定とは独立した情報との整合性を確認する作業であり、不確実性評価とともに排出インベントリの品質を管理するための要素である。不確実性評価は算定値をどの程度の確かさで解釈できるかを示すものである。したがって、不確実性評価は算定値を否定するための作業ではなく、算定値をどのように使うべきかを明らかにするための作業である。

本稿では、QC、QA、検証および不確実性評価を、排出インベントリの品質を異なる側面から支える相互補完的な要素として扱う。実務上は、各作業で得られた情報を相互に利用することで、算定値と算定過程を複数の側面から評価できる。

また、どの活動量の把握が不十分か、どの排出係数のばらつきが大きいのか、どの発生源区分が全体の評価を不安定にしているかを把握することで、次の算定作業や調査計画に活用できる情報が得られる。

3. 政策判断における不確実性評価の使い方

政策判断では、限られた人員、予算、時間の中で、どの対策を重視するか、どの発生源区分を先に見直すか、どの結果をどの程度確かなものとして説明できるかを判断する必要がある。不確実性評価は、算定値をどの程度確かなものとして解釈できるかを判断するための情報を与えるものである。以下、主な活用方法として、排出削減効果の解釈、インベントリ改善の優先順位付け、モデル入力としての説明可能性の三つについて述べる。

3.1 排出削減効果の解釈

政策評価では、対策の実施前後における排出量の変化が、対策効果を評価する指標の一つとなる。このとき、不確実性評価により、算定された変化が推計上の不確実性に対してどの程度明瞭であるかを確認できる。ただし、その変化を対策によるものとみなすには、活動量や算定条件など、対策以外の要因による変化を別途検討する必要がある。

例えば、ある発生源区分の排出量が前年より数%減少した場合を考える。活動量や排出係数のばらつき等に由来する不確実性を考慮した結果、その変化が算定値の不確実性の範囲に収まる場合には、減少を対策効果として解釈できる程度は小さくなる。一方で、不確実性を考慮しても減少傾向が維持される場合には、対策効果をより確かなものとして説明できる。

対策案の比較でも同じことが言える。二つの対策案について、一方の削減量が算定上は大きく見える場合でも、その差が不確実性の範囲内にある場合には、単純に一方が優れているとは断言できない。また、幅を考慮しても差が十分に大きいなら、より確かな根拠をもって対策を選択できる。不確実性評価

は、排出削減効果の過大評価を防ぐことだけではなく、各結果をどの程度の確かさをもって説明できるかを明らかにするために使うものである。

政策評価では、対策効果の判断に用いる排出量や、その算定に用いる活動量、排出係数等に不確実性が伴う場合がある。実務では、これらの不確実性の大きさを把握した上で、結果をどの程度確かなものとして扱えるかを判断する必要がある。不確実性評価は、この判断を数値に基づいて行うための一つの手段である。

3.2 インベントリ改善の優先順位づけ

排出インベントリは、一度の作成で完了するデータではなく、統計の更新、測定結果の蓄積、算定方法の見直しなどにより、継続的に改善していく必要がある。一方で、全ての発生源区分について同程度の調査や算定方法の見直しを行うことは現実的ではなく、実務では、限られた人員や予算をどの発生源区分に配分するかを検討する必要がある。

排出量の大きさだけを基準にすると、改善の優先順位を誤る可能性がある。排出量が多い発生源区分は見直し対象になる可能性が高いと考えられるが、その発生源区分の活動量や排出係数が比較的高い精度で把握されていれば、算定値の解釈は安定している場合がある。一方、排出量の中程度でも、活動量の把握が粗い、排出係数のばらつきが大きい、出典が古いなどの理由により、排出インベントリ全体の不確実性に大きく寄与している発生源区分もあり得る。

不確実性評価を行うことで、どの発生源区分から多く排出されているかと、どの発生源区分が排出量の不確実性に大きく寄与しているかを分けて把握できる。限られた人員や予算の中で追加調査や算定方法の見直しを検討する際には、排出量の大きさに加えて、各発生源区分の不確実性への寄与を考慮することで、不確実性低減の観点から見直し効果が大きい候補を抽出できる。これにより、見直し対象の選定根拠を明確にし、判断過程の説明可能性を高めることができる。

この考え方により、排出インベントリの精緻化を、データを入手しやすい発生源区分から順に行うのではなく、見直しによる効果が大きい発生源区分を優先して行うことができる。これにより、見直し対象の選定根拠を明示しやすくなると考えられる。

3.3 モデル入力としての説明可能性

排出インベントリは、政策判断の基礎資料であると同時に、大気シミュレーションの入力情報としても用いられる。排出インベントリが示す排出量は、発生源から大気中へ排出される汚染物質の量であり、大気シミュレーションでは、この排出量に気象条件、化学反応、地形、境界条件などを組み合わせて、大気中の汚染物質濃度を計算する。このため、発生源対策に伴う排出量の変化が、大気中濃度にどの程度影響するかを評価する際には、入力となる排出インベントリの不確実性を把握しておくことが重要である。

大気シミュレーション結果には、気象条件、化学反応、地形、境界条件など多くの要因が影響する。その中で、排出量の設定も重要な入力条件である。排出量を一つの固定値としてのみ入力した場合、排出量の不確実性を反映した複数の入力条件を設定すれば、排出量の違いに対する濃度変化の感度を把握できる。ただし、この計算によって評価されるのは排出量の入力に由来する変動であり、気象場、化学反応機構、境界条件などに由来するモデル不確実性は別途評価する必要がある。

排出量の不確実性を把握し、その幅を反映した複数の排出量シナリオを大気シミュレーションに入力すれば、得られた濃度変化を、対策効果としてどの程度確かに解釈できるかを検討しやすくなる。例えば、ある対策により対象とする大気汚染物質の大気中濃度が低下する結果が得られた場合には、入力とした排出量の不確実性を反映した条件で同様の傾向が示されるかを確認することで、その濃度低下をどの程度安定して説明できるかを判断できる。入力とした排出量の不確実性が大きい発生源区分が結果に強く影響しているなら、その区分の見直しを次の課題として位置付けられることになる。

このような不確実性の定時は、専門家による内部検討だけではなく、行政、事業者、地域住民などへの説明にも役立つ。「この結果は一定の幅を伴う」「この部分は比較的確度が高い」「この部分は今後の改善が必要である」などと説明できれば、数値を断定的に示すよりも結果の理解を得やすい場合があると考えられる。不確実性評価は、現時点で説明できる範囲と今後の改善対象を区分する作業である。

4. 国内データに基づく簡易例

4.1 自動車関連3区分を対象とした簡易的な不確実性評価

本章では前章までの考え方を、国内資料に基づく簡易例で確認する。なお、この例の目的は、日本のPM_{2.5}等大気汚染物質排出インベントリに対する公式な不確実性を推定することではない。国内資料に示された自動車関連区分の寄与割合を用いて、海外資料に示された相対不確実性（算定値に対して想定される幅を、算定値に対する割合で示した量）を説明用代理値として対応付けることで、排出量寄与率と不確実性寄与率の違いを例として示すものである。

本稿では、自動車がPM_{2.5}等大気汚染物質排出インベントリにおいて主要な発生源の一つであり、かつ性質の異なる自動車関連区分を比較できることから、自動車を簡易例の対象とした。比較対象は、道路交通における自動車の排気由来PM_{2.5}（以下、排気由来PM_{2.5}）、道路交通における自動車の非排気由来PM_{2.5}（以下、非排気PM_{2.5}）、建設機械、産業機械、農業機械など、道路交通以外で使用される特殊自動車に由来するPM_{2.5}（以下、特殊自動車由来PM_{2.5}）の3区分とした。環境省資料では、2018年度のPM_{2.5}等大気汚染物質排出インベントリに基づき、船舶を除いた一次粒子PM_{2.5}排出総量は5.8万t/年⁵⁾、排気由来PM_{2.5}は0.7万t/年⁵⁾で、全体の約12%とされている。また、PM_{2.5}排出総量に占める特殊自動車の排出量の割合は6.9%⁶⁾、自動車関連の排出量に占める特殊自動車の割合は16.7%⁶⁾とされている。

本節では、この自動車関連発生源区分の中でも非排気PM_{2.5}に着目する。ここで非排気PM_{2.5}とは、ブレーキ粉塵、タイヤ粉塵、道路からの巻き上げなど、排気管から直接排出されない自動車関連の粒子を指す。排出ガス規制の強化により、排気由来のPM_{2.5}は低減してきた⁶⁾。そのため、自動車由来PM_{2.5}を評価する上で、非排気PM_{2.5}の寄与を把握する重要性が高まっている。環境省資料⁷⁾に示された2018年度の一次粒子PM_{2.5}発生源別排出量では、巻上、タイヤ粉塵およびブレーキ粉塵が総排出量の22.4%、自動車走行・始動時の排気が12.0%、建設機械、産業機械および農業機械が6.9%を占める。本稿では、これらをそれぞれ非排気PM_{2.5}、排気由来PM_{2.5}および特殊自動車由来PM_{2.5}に対応させた、3つの割合の合計は41.3%であり、この合計に占める特殊自動車由来PM_{2.5}の割合は16.7%である。

以下では、国内資料に示された自動車関連区分のうち、排気由来PM_{2.5}、非排気PM_{2.5}、特殊自動車由来PM_{2.5}を比較対象とする。この比較は、排出量寄与率と不確実性を組み合わせて評価した場合に、改善優先順位がどのように変わるかを示すために実施したものである。

4.2 簡易計算の前提

排出インベントリにおける不確実性評価は、国際的なガイドラインにおいてインベントリ作成・管理の一部として位置付けられている。欧州の大気汚染物質排出インベントリで用いられるEMEP/EEA Guidebook⁴⁾では、不確実性評価の手法が示されている。日本でも、温室効果ガスインベントリ⁸⁾では、QA/QCとともに不確実性評価が報告書の構成要素となっている。一方、PM_{2.5}等大気汚染物質排出インベントリでは、不確実性評価の必要性は述べられているものの、発生源区分ごとの不確実性を確認できる公開資料が限られているため、同様の評価は困難である。そこで本稿では、国内資料に示された排出量寄与率に、海外資料に基づく相対不確実性を説明用代理値として対応付けることで、簡易的な不確実性評価を実施する。

相対不確実性は、ある量の不確実性の大きさを、その量の算定値に対する比で示した無次元量である。本稿では、相対不確実性を本文中では百分率で表記し、式中では比として扱う。相対不確実性を用いる

ことで、活動量と排出係数のように単位が異なる量についても、不確実性の大きさを同じ尺度で比較できる。また、ある区分の排出量を一点の値だけでなく、不確実性を伴う推計値として解釈できる。

排出量は、活動量と排出係数の積として表されることが多い。発生源区分*i*の排出量 E_i は式 (1) で表される。

$$E_i = A_i \times EF_i \quad (\text{式 1})$$

ここで、 E_i は発生源区分*i*の排出量 (g/年) 、 A_i は活動量 (車であれば対象車両群の年間走行距離 km/年) 、 EF_i は排出係数 (車であれば単位走行距離あたりの排出量 g/km) である。活動量と排出係数の相対不確実性をそれぞれ $u_{A,i}$ 、 $u_{EF,i}$ とする。両者の相関を無視できると仮定した簡易的な誤差伝搬では、一般的に、排出量の相対不確実性 $u_{E,i}$ は式 (2) で近似できる。

$$u_{E,i} = \sqrt{u_{A,i}^2 + u_{EF,i}^2} \quad (\text{式 2})$$

ここで、 $u_{A,i}$ 、 $u_{EF,i}$ 、 $u_{E,i}$ はいずれも無次元量である。式 (2) は、活動量と排出係数のどちらか一方ではなく、両方の不確実性が排出量の不確実性に寄与することを表す。ただし、本簡易例では、活動量と排出係数を個別に設定するのではなく、簡略化するため各発生源区分に対応する相対不確実性 u_i を説明用代理値として用いる。

発生源区分*i*の排出量寄与率 s_i と、対応する相対不確実性 u_i の積を二乗し、比較対象3区分における合計で除して正規化した値を、式 (3) のとおり不確実性寄与率 C_i とした。

$$C_i = \frac{(s_i u_i)^2}{\sum_j (s_j u_j)^2} \quad (\text{式 3})$$

なお、 C_i は PM2.5 等大気汚染物質排出インベントリの公式な不確実性寄与率ではない。国内資料に示された自動車関係発生源区分を対象に、排出量寄与率と相対不確実性を組み合わせた場合、どの区分を見直すことで不確実性低減への寄与が大きくなるかを比較するための簡易的な正規化指標である。

4.3 排出量寄与率と不確実性寄与率の比較

前節の考え方にに基づき、自動車関連の3区分を比較した。排出量寄与率 s_i には、2018年度のPM2.5等大気汚染物質排出インベントリに基づき、非排気PM2.5を22.4%、排気由来PM2.5を12.0%、特殊自動車由来PM2.5を6.9%として用いた。

相対不確実性 u_i には、EMEP/EEA Guidebook に示された海外の不確実性情報を説明用代理値として対応付けた。本例では、非排気PM2.5を45%、特殊自動車を除く自動車の排気由来PM2.5を15%、特殊自動車由来PM2.5を100%とした。これらは、式(3)による計算ではそれぞれ0.45、0.15、1.00として扱った。これらの値から不確実性寄与率 C_i を求めた。その結果を図1に示す。

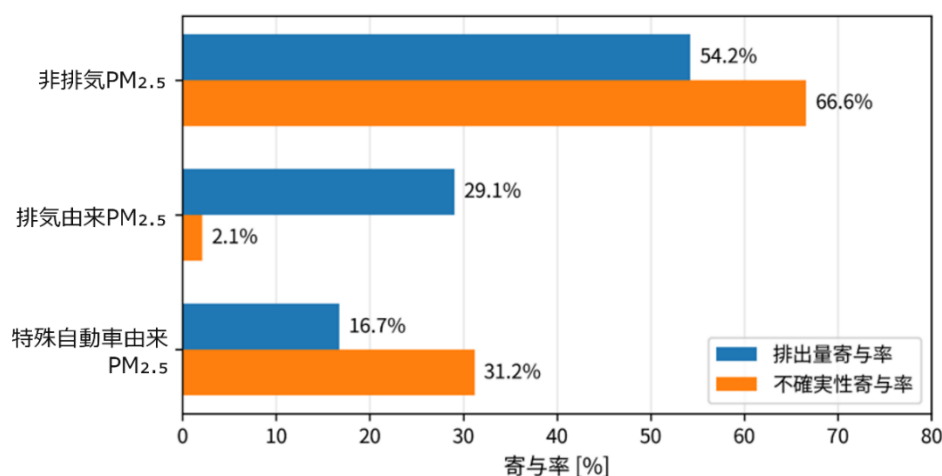


図1 排出量寄与率と不確実性寄与率の比較
(自動車関連3区分のPM2.5の例)

図 1 では、排出量に関する値と不確実性に関する値を同じ尺度で比較するため、いずれも比較対象 3 区分内で合計が 100%となるよう正規化した。排出量寄与率については、元の 22.4%, 12.0%, 6.9%を 3 区分内で正規化した結果、非排気 PM_{2.5} が 54.2%, 排気由来 PM_{2.5} が 29.1%, 特殊自動車由来 PM_{2.5} が 16.7%となった。一方で、不確実性寄与率は、非排気 PM_{2.5} が 66.6%, 特殊自動車由来 PM_{2.5} が 31.2%, 排気由来 PM_{2.5} が 2.1%となった。

この結果は、排出量寄与率が大きい区分と、不確実性低減の観点から見直し効果が大きい区分が必ずしも一致しないことを示すものである。非排気 PM_{2.5} は、排出量寄与率と不確実性寄与率の両方が大きい一方で、特殊自動車由来 PM_{2.5} は、排出量寄与率は 16.7%であるのに対し、不確実性寄与率は 31.2%を占める。このように、排出量への寄与だけでは把握しにくい区分についても、不確実性評価を組み合わせることで、不確実性低減の観点から見直し効果が大きい候補として抽出できる。

本簡易評価は、国内資料に示された排出量寄与率と海外資料に基づく相対不確実性を組み合わせ、不確実性低減の観点から発生源区分を比較する説明例として位置付けたものである。ここで算出した不確実性寄与率は、見直し候補を比較するための定量的な指標の一つであり、総合的な改善の優先順位は、政策的重要性、見直しに要する費用、実施可能性などの複数の観点を組み合わせて決定される。その際、不確実性寄与率を判断材料の一つとして加えることで、見直し対象の選定根拠を明示しやすくなり、判断過程の透明性と説明可能性の向上に資すると考えられる。

5. 段階的導入案

PM_{2.5} 等大気汚染物質排出インベントリでは、算定方法、使用データ、更新箇所などは既存の検討会報告書や、付属する排出インベントリ解説書に整理されており、品質管理に相当する確認は実務上実施されている。ただし、既存の報告書は単年度の更新部分を中心に記載されており、現在の算定方法や数値が採用された経緯を把握するには、複数年度の報告書を確認する必要がある。解説書では、全発生源区分の算定方法を確認できるが、各データの採用理由や検討過程までを把握できる構成にはなっていない。

ここでは、2 章で示した品質要素のうち、算定値の追跡可能性を確保する品質管理と、主要発生源区分への簡易的な不確実性評価を先行して導入する実務案を示す。具体的には、まず、算定値の根拠を追跡できる品質管理を整備し、主要発生源区分で簡易な不確実性評価を実施し、その結果を次年度以降の改善計画に用いる流れを構築することである。

5.1 算定値を追跡できる品質管理

不確実性評価を実務に導入する第一段階は、複雑な統計手法を用いることなく、算定値に用いられた数値の出所、更新理由、計算過程などを後から確認できる状態にすることである。排出インベントリは、活動量、排出係数、補正係数、集計区分、単位換算など、多くの情報を組み合わせて作成されている。算定値に変更が生じたとき、その原因が統計の更新によるものか、係数の見直しによるものか、発生源区分の定義変更によるものか、計算手順の修正によるものかを確認できる環境を整備することが、品質管理の前提となる。

具体的には、各入力値について、出典資料名、対象年度、ページ番号や表番号、取得日、加工の有無、単位換算、集計方法を一元化して記録する必要がある。統計資料、委託調査結果、既往文献、過年度の排出インベントリなどを組み合わせる場合には、採用理由と適用範囲も併せて記録することが望ましいと考えられる。この情報が整理されることで、資料更新時の差し替え箇所の特定が容易となり、過年度値との差が生じた場合にも、再計算の理由を容易に説明できる。なお、発生源区分、地域単位などで集計する場合は、重複計上、除外範囲、按分方法も記録する必要がある。

変更履歴の記録は、継続的な排出インベントリ管理に重要である。排出インベントリは、資料更新、排出係数の見直し、発生源区分変更、計算方法の改善により継続的に更新されるものである。各更新に

ついて、変更項目、変更理由および結果への影響を一元的に記録し、公表可能な範囲を利用者に提示することで、算定値の変更を説明しやすくなると考えられる。

この品質管理は、不確実性評価の根拠を残すとともに、更新後の算定値および計算手順の妥当性を確認する基盤となることが期待できる。可能であれば、これらの情報を一元的に公開することも望ましい。

5.2 主要発生源区分への簡易的な不確実性評価

入力データ、計算手順、変更履歴を追跡できる状態になれば、主要発生源区分に簡易な不確実性評価を実施できる。導入初期には、まずは排出量寄与率が大きい区分、政策的に注目される区分、既往知見から不確実性が大きいと考えられる区分を対象とすることが現実的である。

初期段階では、簡易的な不確実性評価として、各発生源区分に相対不確実性を付ける方法が扱いやすいと考えられる。相対不確実性は、複数の情報源を組み合わせで設定できる。統計資料に標準誤差や信頼区間が示されている場合には、それを活動量の不確実性として用いることができる。排出係数については、実測データのばらつき、既往研究で示された範囲、EMEP/EEA Guidebookなどに示されたデフォルト値を用いることが考えられる。国内の公式な発生源区分別不確実性を得られない場合には、国内条件との相違と適用範囲を明示した上で、海外のガイドブックや既往知見に基づく値を暫定的な比較に用いることができる。

この段階では、活動量と排出係数の相関に関する情報を確認し、両者の相関を無視できる場合には、式 (2) による簡易的な合成を適用できる。一方、相関が想定される場合には、相関を考慮した誤差伝搬やモンテカルロ法など、その関係を反映できる方法を適用することが望ましい^{4),9)}。式 (2) による方法は簡易法であるが、その適用条件を明示することで、主要発生源の不確実性を比較する第一段階として使用できる。

5.3 改善計画への接続

不確実性評価の結果は、次年度以降の算定作業に反映できる。不確実性寄与率が大きい発生源区分について、活動量の把握が粗いのか、排出係数のばらつきが大きいのか、測定法や発生源区分定義に課題があるのかを分析することで、改善対象を具体化することができる。これにより、追加調査、測定、統計の見直し、排出係数の更新などを、排出量の大きさだけでなく、解釈の安定化への効果に基づいて計画できる。

この接続がない場合、不確実性評価は報告書の付録にとどまる。不確実性評価をこのような管理ツールとして用いるには、算定値、入力データ、相対不確実性、不確実性寄与率および改善対応などを相互に参照できる形で管理することが望ましい。更新時には、どの発生源区分の不確実性が低減したか、どの発生源区分が依然として全体の解釈を不安定にしているかを確認すれば、排出インベントリの継続的な改善の状況を説明しやすくなると考えられる。

不確実性評価は、制度の整備を待ってから始める必要はない。算定値を追跡できる QC を整備し、主要発生源区分に根拠を明示した相対不確実性を付記して改善計画に接続するだけでも、実務上の判断材料を増やし、作業の効率化につなげることができる。この段階的な導入により、排出インベントリは単一の算定値による情報から、政策判断と継続的改善を支えるより有用な情報へと近づくと考えられる。

6. おわりに

排出インベントリは、排出実態の把握、対策効果の評価、大気シミュレーションの入力などに用いられる重要な基礎情報である。しかし、単一の算定値だけでは、対策前後の差や発生源間の差がどの程度確かなものかを判断することが困難である。不確実性評価は、排出量算定に幅をつけるだけの作業ではなく、その幅の情報をを用いて算定結果の解釈を安定させる方法である。

本稿は、不確実性評価の主な使い方として、排出削減効果の解釈、改善優先順位付け、モデル入力の説明可能性の三つを述べた。また、例として、排出量寄与率が大きい発生源区分と、不確実性低減のために優先的に精緻化すべき発生源区分は、必ずしも一致しないことを示した。

不確実性評価の導入にあたり、最初から詳細な確率分布や相関構造を設定する必要はない。入力データの出典、単位換算、集計方法および変更履歴を追跡できるようにした上で、主要発生源区分に根拠を明示した相対不確実性を付記すれば、見直し候補の比較に利用できる。本稿の簡易例では海外資料に基づく代理値を用いたが、次の段階では、統計資料の精度情報、国内測定データのばらつきおよび排出係数の更新履歴に基づく相対不確実性を設定することが望ましい。不確実性評価をはじめとした排出インベントリの質の向上策を段階的に導入することで、排出インベントリは、政策判断と継続的改善を支えるより有用な情報へと発展するものと期待される。

参考文献

- 1) 環境省: PM2.5等大気汚染物質排出インベントリ, <https://www.env.go.jp/air/osen/pm/inventory.html>, (参照 2026-07-15)
- 2) 環境省: PM2.5等大気汚染物質排出インベントリの整備・更新について, <https://www.env.go.jp/content/900399570.pdf>, (参照 2026-07-15)
- 3) 環境省: PM2.5等大気汚染物質排出インベントリの整備状況, <https://www.env.go.jp/content/900528230.pdf>, (参照 2026-07-15)
- 4) EMEP/EEA: Air pollutant emission inventory guidebook 2023, Part A, Chapter 5: Uncertainties (2023)
- 5) 環境省: 今後の自動車排出ガス対策のあり方について（第十五次報告）（案）参考資料, <https://www.env.go.jp/content/000212439.pdf>, (参照 2026-07-15)
- 6) 環境省: 今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について（第十五次報告）, <https://www.env.go.jp/content/000261303.pdf>, (参照 2026-07-15)
- 7) 環境省: 第十五次報告に向けた検討課題について, <https://www.env.go.jp/content/000170056.pdf>, (参照 2026-07-15)
- 8) 国立環境研究所: 温室効果ガスインベントリオフィス, <https://www.nies.go.jp/gio/>, (参照 2026-07-15)
- 9) IPCC: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 1: General Guidance and Reporting, Chapter 3: Uncertainties (2006)

JARI Research Journal 掲載区分

掲 載 区 分	記 載 概 要
研究速報 Research Report	背景、目的、方法、結果、考察といった一般的な研究論文の体裁を持った記事。
技術資料 Technical Report	一般的な研究論文の体裁ではないものの、新たな知見または価値あるデータを報告する記事。
調査資料 Survey Report	他機関より得られた資料、データを元に、新たな知見を報告する記事。
解 説 Review	特定の分野やテーマに関して、「現状の最新動向」や「研究・開発状況」などをまとめ、要約・説明する記事。
研究活動紹介 Research Activity	一般的な研究論文の体裁ではないものの、JARI の研究活動や各種プロジェクトなどを紹介・報告する記事。
トピックス Topics	JARI の「研究活動」以外の「活動」等について客観的に事実を報告する記事。
講演 Lecture	JARI のイベントでの講演(含む所外の講演者)をそのまま原稿に起こした記事。
巻頭言 Preface	特集号の冒頭記事。特集したことの解説や特集内容への JARI の取り組みなどを記述。
エッセイ Essay	「研究活動紹介」や「トピックス」と同様に、JARI の活動や関連する話題を取り上げるが、筆者の視点や主観を交え、軽い語り口で親しみやすくまとめた記事。