

環境中空間線量率統合マップデータを利用する
将来予測モデルの導出とその評価作業

仕様書

目次

第 I 部	契約に関する一般事項	2
1	作業の実施形態	2
2	作業項目	2
3	納期	2
4	納入物品	2
5	提出場所	3
6	検収条件	3
7	貸与品	3
8	協議事項	3
9	産業財産権等	3
10	グリーン購入法の推進	3
11	特記事項	3
第 II 部	技術仕様	5
1	概要	5
2	作業内容	6
2.1	環境放射能オリジナルデータと統合マップデータの比較評価作業	6
2.2	将来予測モデル導出のための統合マップデータの準備作業	7
2.3	除染に係る階段状低減モデルを用いた除染時期及びその効率の導出作業	7
2.4	LASSO を用いた環境半減期分布の導出作業	7
2.5	将来予測モデル作成のための入力情報の収集作業	8
2.6	将来予測モデル導出作業とその検証	8
2.7	作業報告書・打合せの議事録の作成	9
	産業財産権特約条項	10

本発注仕様書は、国立研究開発法人・日本原子力研究開発機構・システム計算科学センター（以下、原子力機構）の「環境中空間線量率統合マップデータを利用する将来予測モデルの導出とその評価作業」に関する発注作業について記述するものである。本仕様書において、第 I 部は契約に係わる一般事項を定め、第 II 部は本作業の目的および技術仕様を定めるものである。

第I部 契約に関する一般事項

1 作業の実施形態

本作業は、原子力機構の発注により受注者が実施し、その成果は第4項に定める納入物品として、機構に納めるものとする。

2 作業項目

第II部「技術仕様」に従い、以下の作業を実施する。

- [1] 環境放射能オリジナルデータと統合マップデータの比較評価作業
- [2] 将来予測モデル導出のための統合マップデータの準備作業
- [3] 除染に係る階段状低減モデルを用いた除染時期及びその効率の導出作業
- [4] LASSOを用いた土地利用毎の環境半減期分布の導出作業
- [5] 将来予測モデル作成のための入力情報の収集作業
- [6] 将来予測モデル導出作業とその検証
- [7] 作業報告書・打合せの議事録の作成

3 納期

令和7年1月31日(金)

4 納入物品

次に掲げるものを提出期限までに提出すること。また、本業務に係る成果物として、1～5すべてを紙および電子データ(CD-R等)で納品すること（2,4については電子データのみ）。なお、カラーを使用する場合は、白黒でも印刷できるよう配慮すること。

No.	名称	提出期限	部数
1	受注者情報	契約締結日後速やかに	1
2	作成したコード一式	納品時	2
3	マニュアル、作業報告書	納品時	2
4	動作確認に用いた計算の入出力データ	納品時	2
5	打合せ議事録	実施後速やかに	2

※1.受注者情報は、受注者の資本関係・役員の情報、本契約の実施場所、作業従事者の所属・専門性（情報セキュリティに係る資格・研修等）・実績及び国籍についての情報を記した書類。なお、提出した内容に変更が生じた場合は、その都度提出すること。

3および5はマイクロソフト社Office製品（Word、Excel等）で作成すること。

5.打合せ議事録は、担当者等へメール等で提出すること。

5 提出場所

〒277-0871 千葉県柏市若柴 178-4 柏の葉キャンパス 148 街区 4

東京大学柏の葉キャンパス駅前サテライト 4F

日本原子力研究開発機構 システム計算科学センター

6 検収条件

「4.納入物品」の納品並びに、原子力機構が仕様書に定める作業が実施されたと認められた時を以て検収とする。

7 貸与品

機構が本作業で必要と認められた文献、資料、データ及びプログラム類は無償貸与する。ただし、作業完了時に全て返却すること。

8 協議事項

本作業を的確に実施するために、機構及び受注者は必要に応じ密接に協議を行う。本仕様書に関して疑義が生じた場合、または仕様書に規定されていない事項等については、相互合意に基づき協議を実施する。協議内容は受注者側で簡潔に議事録としてまとめ原子力機構に送付すること。

9 産業財産権等

産業財産権等の取扱いについては、別紙-1「産業財産権特約条項」に定められたとおりとする。

10 グリーン購入法の推進

- (1) 本契約において、グリーン購入法（国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律）に適用する環境物品（事務用品、OA 機器等）が発生する場合は、これを採用するものとする。
- (2) 本仕様で定める提出図書（納入印刷物）については、グリーン購入法の基本方針に定める「紙類」の基準を満たしたものであること。

11 特記事項

- (1) IT ガバナンスが導入されていること。または、IT 全般統制を実施していること。
- (2) 情報セキュリティ管理体制が整っていることを証明する書類を提出すること。
(ISO/IEC27001、JIS_Q27001 認証又は ISMS 認証のいずれかの認証書類の提出でも可)
- (3) 意図しない変更や機密情報の盗取等が行われないことを保証するための具体的な管理手順や品質保証体制を証明する書類（例えば、品質保証体制の責任者や各担当者がアクセス可能な範囲等を示した管理体制図）を提出すること（ISO9001 又は JIS_Q9001 の認証書類の提出でも可）。
- (4) 放射線統合マップデータの作成手法の知見を有し改良する技術を有すること。

- (5) クラスター分析の知見を有し放射線マップデータを分析し経時変化モデルを導出する技術を有すること。
- (6) 地理空間情報に関する知見を有し機械学習技術を用いて放射線統合マップを分析する技術を有すること。

第II部 技術仕様

1 概要

国立研究開発法人・日本原子力研究開発機構・システム計算科学センター（以下、原子力機構・CCSE）では、原子力機構・福島廃炉安全工学研究開発部門及び関連する研究機関と連携し、環境中での空間線量率分布データを基に放射性物質の環境動態を推定するための研究開発を実施してきた。一般に、環境中における空間線量率は、放射性物質の物理半減期により減衰する他、空間内での同物質の移動等によっても経時変化することが知られており、特に、その移動等は、環境（自然及び人為的環境）条件により大きな影響を受けるため、環境半減期による減衰と定義され、その分析が重要な研究課題となっている。実際、もし、環境半減期による減衰過程が明確となれば、将来予測モデルが開発可能となり、空間線量率の経時変化予測によって、住民を始めとして、放射性物質汚染地域に関係する人々へ、重要な情報の提供が可能になると考えられ、その研究開発は急務な課題となっている。

上記目的達成のため、原子力機構では、これまで収集整備してきた空間線量率のデータを機械学習等の手法を用いて分析することで、環境半減期を導出するための研究開発を進めてきた。尚、福島第一原発事故は、これまでの原発事故と異なり、様々なモニタリング手段が開発され、データの収集に対しても、最新のIT技術を活用したことで、統計的な分析が可能となる程、多くのデータが集積していることが特徴である。

以上の背景下、本件では、機構が作成・提供する環境中空間線量率統合マップデータの特徴（フォーマット、全レコード数、地点数、経時変化数、欠損数等）を、統合前のオリジナルデータと共に評価分析した後、各地点単位で空間線量率の経時変化データを抽出・整理する作業を行う。その際、少数の異常なデータを取り除く必要があるため、経時変化データを類型化し、異常値を切り出す作業を行う。なお、異常な経時変化データの切り出しには、クラスター解析等を行い、類型化が困難な少数のデータを除外し、除外データを求めた際に用いたオリジナルデータ（統合マップ作成のために用いた元データ）を分析対象とし、なぜ、不自然なデータとなったかについて分析を加える。

次に、分析・整理したデータから、機械学習法の一つであるLASSOを用いるが、環境半減期を決定する分析と除染時期とその効率（除染により低減した空間線量率）をパラメータとする関数モデルを基に分析を行い、除染実施情報について分析評価する。その際、森林等については、放射性物質の垂直方向の特徴的動態があるため、その変化傾向（経時変化モデル）を別途導出し、除外する等の操作が必要となることに注意する。その後、各地点単位で得られる環境半減期の分布を導出した後、それらの環境半減期分布と各地点の様々な地理空間情報との関係を学習可能とする機械学習モデルを構築し、学習と試験を繰り返し、学習及び学習モデルの評価検証を行う。

以下、上記作業を実施する仕様書の構成について記す。2.以下は具体的作業内容であり、2.1では、原子力機構が有する環境中空間線量率統合マップデータと統合前の環境放射能オリジナルデータの比較評価作業の仕様を記し、2.2では、将来予測モデル導出のための統合マップデータの準備作業の仕様を記す。2.3では、除染に係る階段状低減モデルを用いた除染時期及びその効率の導出作業の仕様を記す。2.4では、LASSOを用いた環境半減期分布の導出作業の仕様を記し、2.5では、将来予測モデル導出のための入力情報の収集作業の仕様を記す。2.6では、将来予測モデル導出作業とその検証について記す。2.7では、作業報告書・議事録作成について記す。

2 作業内容

受注者は1. 概要にて記した内容に際し、以下の具体的作業を実施する。項目毎に作業内容を各節にて説明する。

環境放射能オリジナルデータと統合マップデータの比較評価作業	⇒ 2.1
将来予測モデル導出のための統合マップデータの準備作業	⇒ 2.2
除染に係る階段状低減モデルを用いた除染時期及びその効率の導出作業	⇒ 2.3
LASSOを用いた環境半減期分布の導出作業	⇒ 2.4
将来予測モデル作成のための入力情報の収集作業	⇒ 2.5
将来予測モデル導出作業とその検証	⇒ 2.6

2.1 環境放射能オリジナルデータと統合マップデータの比較評価作業

受注者は、原子力機構が作成した環境中空間線量率統合マップデータを取得し（原子力機構が提供）、その特徴分析を実施する。その際、原子力機構は、受注者に上記データと上記データの作成方法等を含むドキュメント情報（報告書及び論文等）とマップ作成に用いた環境放射能オリジナルデータ一式を提供する。受注者は、それらのデータ及びドキュメント情報を基に、マップ作成方法について考察及び分析する。その際、2.2 以下で実施する統合マップデータの準備作業を念頭に、オリジナルデータを評価する。具体的には、以下の観点（LASSOによる環境半減期導出の観点より）について詳細分析を実施すること。

- ・フォーマット
- ・全レコード数
- ・地点数
- ・経時変化数（地点に依存し欠損等に注意）
- ・考察 i（特徴的ポイント：異常経時変化を示す地点のオリジナルデータの特徴）
- ・考察 ii（特徴的ポイント：森林を示す地点のオリジナルデータの特徴）
- ・考察 iii（特徴的ポイント：帰還困難区域にある地点のオリジナルデータの特徴）
- ・分析 i（統合マップ作成時のベイズ統計活用法）
- ・分析 ii（分析 i を受けて考えられる上記考察事項を踏まえた統合の改良ポイント）

以上、考察 i では、2.2 以下で分析される、異常経時変化を示す地点でのオリジナルデータの特徴について分析を行い、異常さの原因を類型化した後、異常変化を示す地点の除外を行う。特に、土地利用毎に統合マップデータのオリジナルデータを分析し、統合マップデータとしての妥当性を評価する。具体的には、森林等の場合、歩行サーベイ等による人のアクセスにより取得したデータが不足している等の課題（航空機サーベイの特徴が顕著となる等）があると考えられる。その後、統合マップ作成法の妥当性について分析を加え、改良すべきポイントについて記すこと。本作業は、受注後、直ぐに実施する必要があり、受注者は速やかに、作業計画（以降の作業予定等も含む）について原子力機構に報告し、協議の上、原子力機構の指示に従うこと。

2.2 将来予測モデル導出のための統合マップデータの準備作業

2.1 にて取得した環境中空間線量率統合マップデータ（経時変化を含む統計解析に必要な十分なデータ）に対し、データ存在地点毎に地点毎の経時変化データとして整理し、原子力機構に提出する。その際、受注者は下記のデータ整備を行う。その後、各地点の経時変化に対し、LASSO による環境半減期を導出することを想定し、正常なデータのみ抽出すること。

- ・異常経時変化を示す地点のデータの除外
- ・除外後データの地点毎の経時変化の整理（行政区域単位等での整理：各単位での平均経時変化の導出）

以上、受注者は各地点の位置情報と経時変化データを整理する。異常経時変化を示す地点の経時変化を見出す際は、クラスター分析等を活用し、類型化不可能な外れ経時変化を見出し、元データにアクセスし、その原因を分析すること。また、どの地点に上記のような経時変化が見られる等の環境との関係性についても分析を加えること。本分析の結果については、原子力機構に報告し、原子力機構の確認の後、次作業に着手する。次に、上記の異常経時変化を示すデータを除外すべきと判断した場合は、該当データを除外したデータを整備し、原子力機構に提供し、原子力機構による確認及び協議の後、次節以降の作業に着手すること。

2.3 除染に係る階段状低減モデルを用いた除染時期及びその効率の導出作業

2.2 で抽出した異常経時変化を示すデータを除外した、各地点の経時変化データに対し、除染が実施された地点の抜き出し作業を行う。なお、除染については、環境省等の除染実施に関する情報を基に除染区域の特定を行うこと（初期線量率や森林及び帰還困難区域等での除染方法等を参考にすること）。その後、特定区域に対し、クラスター分析を実施することで、階段状に変動する経時変化傾向を示すクラスターを抜き出し、その地点での除染の有無を上記情報と共に比較評価すること。なお、作業実施時は、原子力機構と協議の上、原子力機構の指示に従うこと。

なお、除染が確実に実施された情報と未実施の情報がある場合は、その経時変化を分類するため、サポートベクトルマシン等を用いて経時変化傾向を分割し、他の地点の経時変化にも当てはめ、福島全域での除染実施区域を明らかにすること。次に、得られた除染実施区域に対しては、除染に係る階段状低減モデルを用意し、2.4 で記すように、環境半減期により特徴づけられる指数減衰関数モデルとから LASSO 解析を行い、除染の実施時期とその効率について導出し、得られた結果をまとめ、その詳細を原子力機構に報告すること。以上の作業を実施するに当たり、受注者は、環境放射能の減衰の他、除染の実施区域やその手段とその効果等について、豊富な知見を有する必要がある。

2.4 LASSO を用いた環境半減期分布の導出作業

2.3 の作業により、除染実施区域に対し除染時期と除染効率が検出されたことで、統合マップデータは、除染前と除染後の経時変化データに分類可能となった他、未除染区域のデータも除染検知区域と異なるデータとして分類できることが分かる。これらの分類された個々のデータに対し、受注者は、各地点の環境半減期分布を導出するための LASSO 解析を実施する（ここでは、2.3 と異なり、除染イベント

影響を取り除いたデータとして、除染に係る階段関数低減モデルを用いず、指数関数減衰モデルのみで LASSO 解析を実施する)。除染前のデータにおいては、経時変化データ点数が少ないことに配慮し、LASSO の基底関数数を適切に設定し、実施すること（環境半減期を指数とする指数型減衰関数数を適切に減少させること。その際は、Candes-Tao の関係式に従うこと）。除染後のデータや除染未検地のデータについても同様とする。以上の作業を実施する際は、原子力機構と協議の上、原子力機構の指示に従うこと。

2.5 将来予測モデル作成のための入力情報の収集作業

2.4 の作業結果を基に、未除染及び除染前後の環境半減期が得られた地点について、下記の地点情報を入手すること（福島県全域にて取得可能なものは、全域にて取得すること）。

- ・土地利用（詳細な土地利用）
- ・土地被覆分類情報
- ・土壌分類情報
- ・土質（岩石）分類情報
- ・傾斜度情報
- ・その他（水及び表層土壌流亡に関わる土地区分情報）
- ・人口動態情報（携帯 GPS 情報等：受注者が原子力機構に提示し原子力機構確認の後、受注者が入手すること）

以上の地理空間情報の入手に当たっては、原子力機構に入手計画を報告し、原子力機構の確認を得ること。特に、土地利用については、統合マップが 100m 格子状マップとなっているが、100m 格子内には、様々な土地利用が混在していることも多く、10m 格子での土地利用分布図を用いて、各土地利用の割合を導出し、その割合を入力情報とすること。土地被覆についても、詳細分布図が存在する場合、同様の扱いとする。その一方、土壌分類情報や土質分類情報は、詳細マップは存在しないものと考えられ、統合マップの解像度にあわせた入力情報とする。次に傾斜度情報については、統合マップの 100m 格子の 4 辺の midpoint (4 点) と格子中心点の高度に着目し、4 辺の midpoint の高度と格子中心点の高度差を入力情報とする。その他については、原子力機構と協議の上、原子力機構の指示に従うこと。

以上、受注者は、地理空間情報についての詳細な知見とその活用実績を有する必要があることを注意する。尚、上記の情報は、デジタル化し、2.6 に記す機械学習に用いる入力情報とする。

2.6 将来予測モデル導出作業とその検証

2.5 で記した作業結果を入力情報として、2.4 までに取得した環境半減期を出力情報とする機械学習モデルを構築する。機械学習モデルは、除染前と除染後及び未除染の場合について各々、学習モデルを構築し、一部のデータを検証データとして、予測性能を評価し、性能が十分な場合は、実際に学習した機械学習モデルを用いて、上記の入力情報を基に、指定する任意年に対して予測線量率を出力する機械学習モデルを作成すること。なお、当該作業に当たっては、原子力機構と協議の上、原子力機構の指示に従うこと。

2.7 作業報告書・打合せの議事録の作成

作業報告書は、Microsoft Word (docx 形式)で作成する。原子力機構が確認し指示した作業計画を記した後、その計画に沿って実施した分析作業結果を詳細に記すこと。また、本作業で使用するために開発したプログラムやツールについては、その詳細な解説および使用方法について記述する。特に、使用方法についてはチュートリアルのような、実際に計算する際の具体的な手順も記すと共に、用いたプログラミング言語、ライブラリ等のバージョンなど、動作に必要な情報はすべて記述する。また、動作確認でおこなった検証解析とその結果についても記述すること。

また、本発注に関する打ち合わせを実施した際には、打合せの議事録を作成し、打合せ終了後、速やかに機構担当者の確認を取ること。

以 上

産業財産権特約条項

(乙が単独で行った発明等の産業財産権の帰属)

第1条 乙は、本契約に関して、乙が単独でなした発明又は考案（以下「発明等」という。）に対する特許権、実用新案権又は意匠権（以下「特許権等」という。）を取得する場合は、単独で出願できるものとする。ただし、出願するときはあらかじめ出願に際して提出すべき書類の写しを添えて甲に通知するものとする。

(乙が単独で行った発明等の特許権等の譲渡等)

第2条 乙は、乙が前条の特許権等を甲以外の第三者に譲渡又は実施許諾する場合には、本特約条項の各条項の規定の適用に支障を与えないよう当該第三者と約定しなければならない。

(乙が単独で行った発明等の特許権等の実施許諾)

第3条 甲は、第1条の発明等に対する特許権等を無償で自ら試験又は研究のために実施することができる。甲が甲のために乙以外の第三者に製作させ、又は業務を代行する第三者に再実施権を許諾する場合は、乙の承諾を得た上で許諾するものとし、その実施条件等は甲、乙協議の上決定する。

(甲及び乙が共同で行った発明等の特許権等の帰属及び管理)

第4条 甲及び乙は、本契約に関して共同でなした発明等に対する特許権等を取得する場合は、共同出願契約を締結し、共同で出願するものとし、出願のための費用は、甲、乙の持分に比例して負担するものとする。

(甲及び乙が共同で行った発明等の特許権等の実施)

第5条 甲は、共同で行った発明等を試験又は研究以外の目的に実施しないものとする。ただし、甲は甲のために乙以外の第三者に製作させ、又は業務を代行する第三者に実施許諾する場合は、無償にて当該第三者に実施許諾することができるものとする。

2 乙が前項の発明等について自ら商業的实施をするときは、甲が自ら商業的实施をしないことにかんがみ、乙の商業的实施の計画を勘案し、事前に実施料等について甲、乙協議の上、別途実施契約を締結するものとする。

(秘密の保持)

第6条 甲及び乙は、第1条及び第4条の発明等の内容を出願により内容が公開される日まで他に漏洩してはならない。ただし、あらかじめ書面により出願を行った者の了解を得た場合はこの限りではない。

(委任・下請負)

第7条 乙は、本契約の全部又は一部を第三者に委任し、又は請け負わせた場合においては、その第三者に対して、本特約条項の各条項の規定を準用するものとし、乙はこのために必要な措置を講じなければならない。

2 乙は、前項の当該第三者が本特約条項に定める事項に違反した場合には、甲に対し全ての責任を負うものとする。

(協議)

第8条 第1条及び第4条の場合において、単独若しくは共同の区別又は共同の範囲等について疑義が生じたときは、甲、乙協議して定めるものとする。

(有効期間)

第9条 本特約条項の有効期限は、本契約締結の日から当該特許権等の消滅する日までとする。