

陸域動態モデルのプログラム高度化作業

仕様書

令和6年7月

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

福島廃炉安全工学研究所

廃炉環境国際共同研究センター

環境影響評価グループ

1. 作業件名

陸域動態モデルのプログラム高度化作業

2. 作業の目的及び概要

日本原子力研究開発機構（以下「原子力機構」という。）では、福島第一原子力発電所の事故により環境中に放出された放射性物質の中でも、特に放出量や影響が大きい放射性セシウムに対して、環境中における移動を予測、被ばく線量への影響が大きい移動経路を明らかにし、移動抑制等の対策を提案することを目指した研究開発を行っている。現在、主たる移行経路は、土壤に吸着された放射性セシウムが雨による土壤侵食を受け、河川に流入し、そのまま河川を通じて河口から海に流出する現象と考えられる。

原子力機構では、現在河川流域を対象とした陸域動態モデルを開発している。このモデルは、地表水及び地下水流れに応じて土壤侵食・堆積挙動を計算し、水と土砂の流れに応じた放射性セシウム輸送計算を行うものである。

本件は、陸域動態モデルのプログラム高度化を目的とする。

3. 作業実施場所

原子力機構

システム計算科学センター柏事務所

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 4 階

受注者施設

4. 納期

令和 7 年 2 月 28 日（金）

5. 作業内容

5. 1 作業内容及び方法

5. 1. 1. RADFLOW プログラムの機能追加作業
5. 1. 2. RADFLOW プログラムへの非線形ソルバーの導入作業
5. 1. 3. RADFLOW プログラムの太田川上流への適用作業
5. 1. 4. 作業報告書の作成
5. 1. 5. 打ち合わせの実施

5. 2 作業内容及び方法

以下、5. 2. 1～5. 2. 2に示す作業は、「7. 大型計算機の利用」に記載の原子力機構のスーパーコンピュータを利用するものとする。計算機利用の形態としては、インター

ネットを介した利用とする。

使用コードは、流域水循環系の水・土砂・放射性セシウム輸送プロセスを分布型物理モデルによって解くことができる RADFLOW (RADionuclides transport by water and sediment FLOW)*とする。

※RADFLOW は地表水・地下水流れに関する 2 次元・3 次元流動計算については、地表の任意の離散的に配置されたノードに対して、地表面標高、層厚、層数を定義することで計算格子を作成する (井戸ら(2002)に基づいて開発)。各ノードに対してポリゴンを定義し、そのポリゴンに対してコントロールボリュームを定め水深・圧力水頭を定義し、各ノード周りの 3 角形要素 (セル) の重心 (ポリゴンの頂点) において得られる流量をもとにポリゴン間 (ポリゴン間の線分をエッジ) の保存式を計算する。地下水流動に関しては、Richards 方程式に従う。流速公式については、地表流は Manning 則、地下水流はダルシー則に従う。地表の河川ノードが含まれるエッジにおける移流計算は 1 次元で取り扱う。時間発展は鉛直方向のみ陰解法とし水平方向は陽解法、空間離散化は有限体積法を用いる。地表水と地下水のやりとりはダルシー則をもとに陽的に扱う。土砂及び放射性セシウム輸送については、離散化手法は地表水・地下水流動と同様であるが、各種プロセス毎の基礎方程式は Mori et al. (2015)に基づいて開発している。また使用言語は Fortran90 である。次頁に主要なソースファイルリストを記す。

参考文献

井戸ら (2002)、任意 3 角形平面スキームを用いた地下水・地表水の流出解析法、水工学論文集、46、157-162

Mori et al. (2015), Integrated watershed modeling for simulation of spatiotemporal redistribution of post-fallout radionuclides: Application in radiocesium fate and transport processes derived from the Fukushima accidents, Environmental Modelling & Software, 72, 126-146

ソースファイルリスト

ファイル名	行数 (参考)	内容
main.f90	294	メインプログラム
geom.f90	1129	stl データを読み込み、三角格子、ポリゴンデータを作成する 作成した三角格子、ポリゴンデータを geometry ファイルに出力する geometry ファイルから三角格子、ポリゴンデータを読み込む
geology.f90	666	各種計算パラメータを設定する
input.f90	687	入力ファイルの変数定義と入力ファイルの読み込みを行う
variables.f90	41	各種物理量のデータ配列の設定と値を入力する
parameter.f90	16	各種パラメータの設定をする
waterflow.f90	1654	セル重心の水位、水面勾配、流速を算出する 連続式(地表水、地下水、河川)の計算を行う
debris.f90	515	セル重心の浮遊物濃度、ポリゴン中心における代表斜度、流速、雨滴浸食量を算出する 水流による土壌侵食・堆積量を算出し、連続式の計算を行う 浸食堆積高さを算出する
radioactive.f90	628	セル重心の溶存態及び懸濁態 Cs-137 濃度、ポリゴン中心における拡散量、吸脱着量、鉛直方向の移行量を算出する 連続式(地表水中の懸濁態 Cs-137、地表水及び地下水中の溶存態 Cs-137)の計算を行う
riverflow.f90	370	河川ノード間、河川ノードとエッジを共有するノード間の移流計算を行う
output.f90	497	計算結果を vtk 形式で出力する
wfcal.f90	13	土壌粒子の沈降速度を計算する
write_msg.f90	12	write 文による出力を行う
read_restart.f90	22	リスタート用ファイルを読み込む
sort_shell.f90	45	ソート計算を行う
vector_product.f90	27	ベクトル積の計算を行う
TDMA.f90	45	行列計算を行う
monitoring.f90	295	変数観測に関する処理を行う
time_measure.f90	337	計算時間の測定を行う

5. 2. 1. RADFLOW プログラムの機能追加作業

令和 5 年度開発した Richards 方程式に基づく地下水流動の計算が可能な RADFLOW プログラムを対象に、土砂及び懸濁態セシウム輸送方程式への拡散項を追加すること。実装後、方程式の解に関してどの程度導入前後で差があるのか評価すること。蒸発散機能に関して、地表面から蒸発できない際は、表層土壌層から蒸発散するようにすること。パラメータ空間分布の自動設定機能について、土地利用、表層土壌、表層地質図データごとに何層目にテーブルデータを割り当てるかを入力ファイルで設定できるようにすること。過年度に開発したベイズ最適化によるパラメータチューニング機能を統合すること。

5. 2. 2. RADFLOW プログラムの非線形ソルバーの導入作業

令和 5 年度開発した Richards 方程式に基づく地下水流動の計算が可能な RADFLOW プログラムを対象に、ニュートンラプソン法等の非線形ソルバーの導入を行うこと。実装後、非線形方程式の解に関してどの程度導入前後で差があるのか評価すること。地表層近傍の層厚を薄くした際の収束性が改善するかを調査すること。さらにオートタイムステップを実装し計算速度が改善するか調査すること。導入方針は機構と協議の上、原子力機構の指示に従うこと。

5. 2. 3. RADFLOW プログラムの太田川上流への適用作業

5. 2. 1～5. 2. 2で改修した RADFLOW プログラムを用いて、福島県太田川上流域を対象として、一定の有効降水量を与えた平衡状態計算を約 1 年間、実降雨を対象とした非定常計算を約 1 年間行い、妥当な河川流量、地下水面の形成、土砂及び放射性セシウム流出量となるようにパラメータや層厚、層数をチューニングすること。参考となる実測値については、原子力機構が貸与するデータを利用すること。

5. 2. 4. 作業報告書の作成

上記の作業成果を報告書に取りまとめること。

報告書の作成に当たっては、原子力機構「研究開発報告書類執筆・投稿マニュアルー研究開発報告書類原稿作成の手引きー（第 5 版）」（2020 年 4 月）に基づき作成すること。報告書には、作成に当たって参考にした文献の一覧を添付すること。

5. 2. 5. 打ち合わせの実施

打ち合わせは、実施計画書の作成後、非線形ソルバーの導入後、全体の作業終了後、の合計 3 回以上実施することとし、作業計画、作業内容、作業進捗状況、結果説明等を原子力機構に報告すること。打合せの内容・日時等については、原子力機構と協議の上、その決定にしたがうこと。打合せは WEB を基本とすること。なお、打合せの内容については、適宜議事録を作成し、原子力機構の確認を得た上で、双方 1 部ずつ保管すること。

6. 貸与品

- ・RADFLOW プログラム一式およびマニュアル
- ・太田川上流における河川流量、土砂濃度、放射性セシウム濃度データ

7. 大型計算機の利用

受注者は本作業の実施にあたり、原子力機構の所有する以下に示す大型計算機システムを無償で利用できる。なお、計算機システムの利用にあたっては、原子力機構の利用規則を遵守するものとする。

- ・HPE SGI8600 CPU 演算部 但し、12,000 ノード時間を限度とする。

8. 提出書類

書類名	提出期限	部数	確認	備考
業務従事者等の経歴 (※1)	契約締結後速やかに	1 部	不要	任意様式 (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)
委任又は下請負届	作業開始 2 週間前まで (必要に応じて)	1 部	要	(原子力機構指定様式)
作業実施計画書	契約締結後速やかに	1 部	要	
作業報告書	納期までに	1 部	不要	電子データファイル一式を含む ¹⁾
打合せ議事録	打合せ実施後速やかに	1 部	要	

※1 業務従事者等の略歴 (契約先の資本関係、役員の情報、本契約の実施場所、氏名、所属・専門性 (情報セキュリティに係る資格・研修等)・業務経験及び国籍) が記載されたもの。

- 1) 作業報告書については、紙による報告書を所定部数と電子データファイル一式を提出すること。なお、提出する電子データは、報告書の PDF ファイル一式、Word、Excel 等の加工可能なファイル一式、及び開発した技術等を電子媒体に格納したものとする。

(提出場所)

〒963-7700 福島県田村郡三春町深作 10-2

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

福島廃炉安全工学研究所 廃炉環境国際共同研究センター

環境影響評価グループ

9. 検収条件

「8. 提出書類」の提出並びに、原子力機構が仕様書の定める作業が実施されたと認められた時を以て、作業完了とする。

10. 特記事項

- (1) 受注者は原子力機構が原子力の研究・開発を行う機関であるため、高い技術力及び高い信頼性を社会的にもとめられていることを認識し、原子力機構の規程等を遵守し安全性に配慮し業務を遂行しうる能力を有する者を従事させること。
- (2) 受注者は業務を実施することにより取得した当該業務及び作業に関する各データ、技術情報、成果その他のすべての資料及び情報を原子力機構の施設外に持ち出して発表もしくは公開し、または特定の第三者に対価をうけ、もしくは無償で提供することはできない。ただし、あらかじめ書面により原子力機構の承認を受けた場合はこの限りではない。
- (3) 納入物件の所有権及び著作権、その他技術情報に関わるものの権利は、原子力機構に帰属するものとする。
- (4) 本件の実施に際し、データ解析手法や評価手法について新たな発明がなされた場合には、原子力機構と協議の上、その決定に従い工業所有権の出願を行うこと。
- (5) 作業報告書の作成に際しては、著作権侵害について留意すること。
- (6) 受注者は異常事態等が発生した場合、原子力機構の指示に従い行動するものとする。また、契約に基づく作業等を起因として異常事態等が発生した場合、受注者がその原因分析や対策検討を行い、主体的に改善するとともに、結果について機構の確認を受けること。

11. 検査員及び監督員

検査員：一般検査 管財担当課長

監督員：廃炉環境国際共同研究センター 環境影響評価グループ員

12. 産業財産権等

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

13. 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書類（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。

14. その他

(1) 協 議

本仕様書に記載されている事項及び、本仕様書に記載されていない事項について疑義が生じた場合は、原子力機構と協議の上、その決定に従うこと。なお、協議の内容については、適宜議事録を作成すること。

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。