

除去土壌等の減容化に関する社会受容における重要要素

高田 モモ^{1*}、 三成 映理子²、 松本 親樹¹、 岩崎 雄一³、 鈴木 薫¹、 保高 徹生¹

【要 約】 福島第一原子力発電所事故由来の約1330万m³の除去土壌等の福島県外での最終処分に向けては、処分方法や減容化の技術的検討とともに、その社会受容性の考慮も重要な課題である。本研究では、オンラインアンケートによる選択型コンジョイント分析を用い、減容化適用に関連する社会受容における重要要素を調べた。調査では処分物の量、処分物の放射能濃度、処分場の種類を評価対象とし、2023年8月に関東地域に住む2026人から回答を得た。その結果、処分物の量と放射能濃度は低下するほど調査参加者の選好が高くなった。処分場の種類は、管理がより厳重な処分場で選好が高かった。総合的には、参加者は減容化技術の適用による処分量の低減効果や、より管理が厳重な処分場の採用より、放射能濃度が低いことを重要視したため、参加者の選好は減容化の程度を抑えたシナリオほど高かった。本結果は、減容化による放射能濃度増加に対する人々の抵抗感や忌避感が、処分量低減のメリットで相殺されづらいことを示している。これは、実際のシナリオ選定だけでなく、候補地選定後のステークホルダーとのリスクコミュニケーションにおいて有用な情報である。

キーワード：コンジョイント分析、オンラインアンケート、県外最終処分、福島第一原子力発電所事故

1. はじめに

現在中間貯蔵施設に保管されている、東京電力福島第一原子力発電所事故由来の約1330万m³の環境除染によって発生した、放射性セシウムを含む土壌や可燃物等(以下、除去土壌等とする)は、2045年までに福島県外で最終処分される予定である。県外最終処分に向け、除去土壌等の処分方法や減容化の技術的検討とともに、それらの政策が地元住民や社会に受け入れられるかといった社会受容性の考慮も重要な課題である。社会受容の重要性は近年国際的にも強調されており、IAEA (International Atomic Energy Agency, 国際原子力機関)、OECD/NEA (Organisation for Economic Co-operation and Development / Nuclear Energy Agency, 経済協力開発機構/原子力機関)、ICRP (International Commission on Radiological Protection, 国際放射線防護委員会)といった国際的機関が、放射性廃棄物だけでなく原発事故由来の除去土壌等について、処分や管理における社会的側面の重要性や意思決定における倫理的側面の重要性に言及している¹⁻⁶⁾。

これまで、除去土壌等の県外最終処分について、社会

受容に着目した研究がいくつか実施されてきた。Takada et al.⁷⁾は選択型コンジョイント分析により、除去土壌等の県外最終処分場立地において手続きの公正(事業がどのような手続きを経て決定されたかという決定過程に関する公正さ)や分配的公正(事業により享受する便益や負担する費用やリスクの問題について当事者間での配分に関する公正さ)といった倫理的側面⁸⁾が重要であることを明らかにした。一方でこの研究では、除去土壌等に対する減容化適用の有無(大量・中程度放射能濃度あるいは少量・高放射能濃度)による人々の選好に差は生じなかった。しかしこの結果が、人々は除去土壌等の減容化適用に対して選好がないのか、あるいは手続き的公正や分配的公正といった他の選択肢と比較して減容化適用の重要性が低いのか、どちらを反映したのかはわかっていない。Shirai et al.⁹⁾は構造方程式モデリングにより、除去土壌と可燃物の焼却により発生した焼却残さ(焼却主灰および飛灰)について県外最終処分場の受容に影響を与える因子を調べ、県外最終処分の社会受容は除去土壌と焼却残さの間で明確な違いはないものの、リスク認知は除去土壌(8000-

2023年12月4日受付 2024年4月8日受理

*Corresponding author: Email: momo.takada@aist.go.jp

¹ 国立研究開発法人産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地圏資源環境研究部門(〒305-8567 茨城県つくば市東1-1-1)

² 国立研究開発法人国立環境研究所 資源循環領域(〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)

³ 国立研究開発法人産業技術総合研究所 安全科学研究部門(〒305-8569 茨城県つくば市小野川16-1)

2300万Bq/kg)よりも放射能濃度の高い焼却残さ(3.3–19.8億Bq/kg)のほうが高いことを明らかにした。リスク認知は受容に影響するため^{9,12)}、この結果は減容化適用による放射性物質の濃縮が社会受容を下げる可能性を示唆している。

除去土壌等の県外最終処分の技術的側面については、減容化技術に着目した多くの研究が実施されている^{13–15)}。また環境放射能除染学会では、2021年に「県外最終処分に向けた技術開発戦略の在り方に関する研究会活動報告書(以下、報告書とする)¹⁶⁾」をまとめており、この中で、除去土壌等の処理、再生利用、処分に関する想定シナリオが3つ検討されている：現在の処理技術開発動向に準拠したシナリオA：処理費用の最小化を目指し、減容化の程度を抑えたシナリオB：量の最小化を目指し、放射性物質を最大限分離・回収したシナリオC。本報告書では、減容化処理によって生じた高濃度土壌と、焼却残さのうち焼却土灰の熱処理で生じた飛灰それぞれについて、量と放射能濃度、処分場の種類がシナリオごとに整理されている(Table 1)。

前述した既往研究結果などを踏まえると、Table 1に示した高濃度土壌や熱処理飛灰といった処分物の量(以下、処分量とする)や放射能濃度等、減容化技術の適用に影響を受ける要素が、処分場の受容に関連する人々の選好に重要な要素である可能性がある。選定した減容化シナリオ次第で県外最終処分の社会受容が低下する可能性が否定できない。減容化は不可逆的な処理であるため、報告書¹⁶⁾のようなシナリオ評価と合わせて社会受容性を整理しておくことが重要である。

本研究では、県外最終処分の社会受容において除去土壌等の減容化に関する要素の相対的重要性を、選択型コンジョイント分析により明らかにした。具体的には(1)選択する減容化シナリオによって変化する3要素、すなわち処分量、処分物の放射能濃度とそれに基づく管理期間、処分場の種類それぞれについて、人々の選好と3要素の相対的重要性、(2)Table 1における3シナリオの相対的な選好度、(3)これらの重要要素の異なる集団間での違いに着目した。コンジョイント分析を用いることで、各要素の選好度を個別に評価することが可能になるため、人々の懸念事項を抽出することができる。したがってこ

の情報は、県外最終処分場の候補地選定後のステークホルダーとのリスクコミュニケーションにおいても有益である。

2. 方法

(1) コンジョイント分析

本研究で採用したコンジョイント分析は、1960年代に計量心理学の分野で開発された¹⁷⁾。これは、複数の要素を含む製品やサービスに対する、人々の意識的または無意識的な選好の評価手法であり、対象物の全体的な評価を個々の属性の重要性(部分効用)に分割することができる。コンジョイント分析は、マーケティング分野でよく用いられているが、環境評価の手法としても利用されてきた¹⁸⁾。放射性もしくは非放射性廃棄物処分場の立地選定プロセスについて、市民の嗜好をとり入れることを目的としてコンジョイント分析が用いられた事例もある^{19–21)}。

コンジョイント分析では、様々な属性(例：処分量；放射能濃度)と属性水準(処分量：15–100万m³；放射能濃度：10万–45億Bq/kg)により構成されたプロファイルで評価対象を表現し、調査参加者がプロファイルを評価する。コンジョイント分析では、基本的にはすべての属性の部分効用の合計が対象物全体の効用と考える^{19–21)}。

(2) 調査参加者

調査は2023年8月にWebアンケートによって行った。調査参加者は、関東地域(東京、神奈川、埼玉、千葉、栃木、群馬、茨城、山梨)に住む20歳から69歳とした。最終処分場が福島県以外であること、福島第一原発の受益圏であった東京電力エリア、つまり関東地域は県外最終処分場の候補地として検討される可能性が高いこと、この年齢層の人々が合意形成の主要なステークホルダーであることから参加者を選定した。回答はオンライン調査会社(Cross Marketing Inc.)を通じて取得し、参加者は調査会社に登録されたモニターであった。回答は、年齢層(20代、30代、40代、50代、60代)および性別が均等になるように(性別は、以下に示すように4種の選択肢を設けたため、女性と男性の参加者がおおむね1:1になるように均等とした)、2000件回収することを目指し、最終的に2026件の回答が得られた。調査参加者には、約40

Table 1 Potential scenarios for treatment, recycling, and the disposal of radioactively contaminated soil and wastes.¹⁶⁾

Potential scenario	Highly contaminated soil	Fly ash	Disposal facility
Scenario A Based on current technology development	2.3×10^7 Bq/kg 1070 m ³	1.5×10^7 Bq/kg 840 m ³	Isolated type
Scenario B Minimizing costs	1.0×10^5 Bq/kg 7.5×10^5 m ³	7.7×10^4 Bq/kg 1.8×10^5 m ³	Leachate-controlled type
Scenario C Minimizing volume	4.2×10^9 Bq/kg 7 m ³	2.0×10^9 Bq/kg 6.3 m ³	Isolated type

円相当のウェブポイントが付与される仕組みで運用された。参加者はまず基本情報(性別(回答しない/その他/女性/男性)、年齢、居住都道府県)を入力し、回答を始める前に除去土壌等の県外最終処分に関する事前説明文章を確認した。事前説明文章には、事故による環境汚染の概要、除染と中間貯蔵施設、30年後の福島県外最終処分計画について記載した(Appendix 1)。参加者に説明内容を十分理解してもらうため、文章の提示から30秒以上たたないと回答に進めない仕組みにした。

本研究計画は、産業技術総合研究所の人間工学実験委員会に提出し、審査対象外と判断された。調査参加者全員が自発的に参加し、回答が研究目的で使用され、公表されることに同意した。参加者はまず、調査の概要やデータの利用目的など、参加に関する詳細な情報を文章で提供され、回答へ入る前に調査に協力することに同意するという選択肢を選んだ場合のみ回答に進んだ。

(3) 質問デザイン

本研究は、減容化によって変化する3属性を対象とした: 処分量; 処分物の放射能濃度; 処分場の種類である。3つの属性はTable 1に示した報告書¹⁶⁾の情報を参考にし、3もしくは2つの属性レベルを設定した(Table 2)。報告書では、各シナリオの経済性評価や、処分場所等も整理されているが、調査参加者への過度な負荷を避けるため、本研究では調査対象に含めなかった。

処分量: 減容化による処分量の低減効果に関する認識を調べる項目である。調査参加者が量をイメージしやすいよう、直方体としたときの表現を含めた(例: 2000 m³の場合、直方体で表すと、縦100 m、横20 m、深さ1m; Fig. 1)。

処分物の放射能濃度とそれに基づく管理期間: 減容化による放射性物質の濃縮に関する認識を調べる項目である。管理期間は、放射性物質としての管理が必要な8000 Bq/kgを下回るまでの期間とした。

処分場の種類: 処分される物質の放射能濃度に応じて変化する処分場の種類の選好を調べる項目である。参加者が処分場の特徴を理解しやすいよう、両処分場を説明するための絵と説明を含めた(Fig. 1)。

3つの属性にはそれぞれ3もしくは2つの属性レベルがあるため、これらの属性水準を組み合わせた最終処分場の条件(以下、プロファイルと呼ぶ)は理論上18案存在する。調査参加者の負担軽減のため、アンケートに使用するプロファイル数を、L₉直交表を用いて9つに絞った。調査では各プロファイルを2つずつペアで提示し、参加者はどちらが好ましいかを選択する選択型コンジョイント分析を採用した(Fig. 1)。9つのプロファイルから36組のペアができるが、一方のプロファイルが明らかに受け入れやすいというペアは除外し、25組を残した。つまり、一方のプロファイルが大量・高放射能濃度、もう一方が小量・低放射能濃度で、処分場の種類がどちらの選択肢も同じ場合、小量・低放射能濃度のプロファイルが選択されると考えた。それぞれの水準の選好を測るため、除去土壌等の県外最終処分の実態に沿わないプロファイルも対象とした(例えば、45億 Bq/kgの処分量が100万 m³存在する、45億 Bq/kgの処分物を管理型相当処分場で処分する)。2026人の参加者をそれぞれ約400人ずつ5つのグループに分け、各グループが5組のプロファイルに回答した。どのプロファイルでも、周辺の空間線量および地下水、放流水等の放射性物質濃度のモニタリング等を行い、人間を含む周辺環境への影響がないことを継続して確認することが示された。

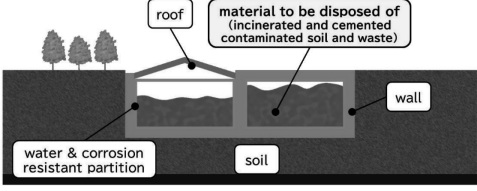
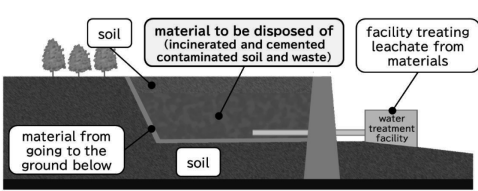
コンジョイント分析による重要要素の評価に加え、福島県外での最終処分場立地に関する潜在的な受容を調べるため、調査参加者には「あなたは、自分の住んでいる自治体で、除去土壌等が県外最終処分されることについて、賛成ですか、それとも反対ですか」に4件法(1=反対である、4=賛成である)で答えてもらった。Table 1のシナリオA、B、Cに相当する3処分条件について、それぞれ約400人ずつ、合計1213人が回答した。ここで、3条件は以下の通りである: シナリオAは処分量2000 m³、放射能濃度2500万 Bq/kg、遮断型相当処分場; シナリオBは処分量100万 m³、放射能濃度10万 Bq/kg、管理型相当処分場; シナリオCは処分量15 m³、放射能濃度45億 Bq/kg、遮断型相当処分場。

このアンケート調査では、本稿での目的を鑑みて今回の分析には含めていないものの、上記の質問に加えて除

Table 2 Conjoint attributes and attribute levels.

Attribute	Attribute level
Volume	1. 15 m ³
	2. 2000 m ³
	3. 1.0 × 10 ⁶ m ³
Radioactivity concentration	1. 1.0 × 10 ⁵ Bq/kg (managed for approx. 110 years)
	2. 2.5 × 10 ⁷ Bq/kg (managed for approx. 350 years)
	3. 4.5 × 10 ⁹ Bq/kg (managed for approx. 570 years)
Disposal facility	1. Isolated type
	2. Leachate-controlled type

If radioactively contaminated soil and waste were to be disposed of permanently in your municipality, which of the following two cases would you be more willing to accept?
In all cases, monitoring of ambient doses and radioactivity concentrations in groundwater, discharged water, etc. will be conducted to continuously confirm that there is no impact on the surrounding environment, including humans.

Case A	Case B
<ul style="list-style-type: none"> Volume of materials; 2,000 cubic meters In cuboid, length 100 meters width 20 meters depth 1 meter 	<ul style="list-style-type: none"> Volume of materials; 2,000 cubic meters In cuboid, length 100 meters width 20 meters depth 1 meter
<ul style="list-style-type: none"> Radioactivity concentration of materials 25,000,000 becquerel/kilogram (2.5×10^7 Bq/kg) Control period for radioactive materials; ca. 350 years (After the management period as a radioactive material, general waste management is required.) 	<ul style="list-style-type: none"> Radioactivity concentration of materials 100,000 becquerel/kilogram (1.0×10^5 Bq/kg) Control period for radioactive materials; ca. 110 years (After the management period as a radioactive material, general waste management is required.)
<ul style="list-style-type: none"> Disposal facility; Isolated type Materials to be disposed of are covered with water- and corrosion-resistant partitions and walls that prevent water penetration from the surrounding soil and shield radiation. 	<ul style="list-style-type: none"> Disposal facility; Leachate-controlled type Material to be disposed of are covered with soil to shield radiation. The sides and bottom of the material are intercepted to prevent groundwater contamination. Water leaking from the material is properly treated in a water treatment facility. 

- 1 ○ Case A is more acceptable.
2 ○ Case B is more acceptable.

Fig. 1 An example of a question used in the choice-based conjoint analysis questionnaire. Two final disposal site scenarios (profiles) were presented on each selection screen.

去土壌の再生利用の社会受容も対象としており、除去土壌の県外最終処分および再生利用に関する感情的評価、リスク認知、不均衡感に関する質問、また認知の比較のため自然由来重金属（ヒ素）汚染土壌に対しても同様の質問が含まれた。質問順は、キャリー・オーバー効果（質問順が回答に与える影響）をなるべく防ぐよう配慮したため、これらの調査を同一のアンケートで実施することの影響は極めて小さいと判断した。本稿に関連する質問票および回答は、責任著者から入手可能である。

(4) 解析

コンジョイント分析は、McFadden²²⁾による条件付きロジットモデルを用いた。個人 k がプロファイル i を選択したときの効用 U_{ki} は以下である：

$$U_{ki} = V_{ki} + \varepsilon_{ki} = \beta_{ki} \cdot x_{ki} + \varepsilon_{ki} \quad (1 \leq i \leq I) \quad \dots (1)$$

ここで、 x_{ki} はプロファイル i の属性水準、 β_{ki} は個人 k の効用パラメータで確率分布に従い個人ごとにランダムに変化する変数である。 V_{ki} は効用の観察可能な成分であり、

ε_{ki} は観察不可能な誤差項である。個人 k がプロファイル i を最も好ましいものとして選択する確率 P_{ki} は、以下である：

$$P_{ki} = P_r \left[\max(U_{ki}, \dots, U_{kl}) = U_{ki} \right] \quad \dots (2)$$

誤差項 ε_{ki} が独立で同一の分布 (independently and identically distributed) と仮定すると、 P_{ki} は以下である：

$$P_{ki} = \frac{\exp(\beta_{ki} \cdot x_{ki})}{\sum \exp(\beta_{ki} \cdot x_{ki})} \quad \dots (3)$$

この対数尤度関数の値を最大化することで β_{ki} を推定した。

本研究の各属性水準は連続変数ではないので、水準ごとにダミー変数を用いた。効用を構成する観測可能な要素は、本研究では以下のようにモデル化される：

$$V = \beta_1 x_{Vs} + \beta_2 x_{Vl} + \beta_3 x_{Cl} + \beta_4 x_{Ch} + \beta_5 x_F \quad \dots (4)$$

ここで、 x_{Vs} は処分量 15 m^3 、 x_{Vl} は処分量 100 万 m^3 、 x_{Cl} は 10 万 Bq/kg の処分量、 x_{Ch} は 45 億 Bq/kg の処分量、 x_F は管理型相当処分場を示すダミー変数である。現在の処理技術開発動向に準拠したシナリオAの属性水準である、処

分量 2000 m^3 、 2500 万 Bq/kg の処分物、遮断型相当処分場を基準とした。 β の推定は、R の survival パッケージの clogit 関数を用いた²³⁾。

異なる属性をより重要視するグループが存在するかを確認するため、性別および年代に基づいて、参加者をグループ分けし、上記のように効用値を算出した。性別について、回答しないおよびその他を選択した参加者は解析対象から除いたが、この参加者は全体の0.5%であった。

シナリオによる相対的な選好度は、属性水準の効用値を合計することで評価した。現在の処理技術開発動向に準拠したシナリオ A の属性水準を基準としたため、シナリオ A の選好は0である（処分量 2000 m^3 の効用値0、放射能濃度 2500 万 Bq/kg の効用値0、遮断型相当処分場の効用値0の合計）。

3. 結果

(1) 最終処分場の社会受容とシナリオによる違い

参加者の26%–32%が、自分の自治体での除去土壌等の最終処分に「賛成」または「どちらかといえば賛成」を選択した (Fig. 2)。「賛成」を選択した参加者は3.7%–5.5%

であった。受容に関する回答の平均値 (\pm 標準偏差) はシナリオ A が 2.1 ± 0.8 、シナリオ B が 2.2 ± 0.8 、シナリオ C が 2.2 ± 0.8 であり、平均値はシナリオ間に5%水準で有意な差がなかった (Kruskal-Wallis test)。

(2) 各属性の選好度と相対的重要性

Fig. 3aに、コンジョイント分析により得られた相対的な効用を示す。現在の処理技術開発動向に準拠したシナ

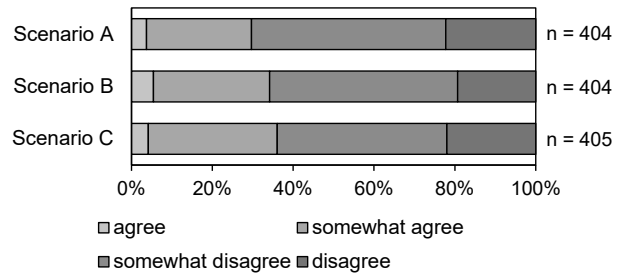


Fig. 2 Responses to the question “Do you agree or disagree with the idea of radioactively contaminated soil and waste being permanently disposed of in your municipality?” for disposal sites in Scenarios A, B, and C (Table 1) using a four-point scale (1 = disagree, 4 = agree).

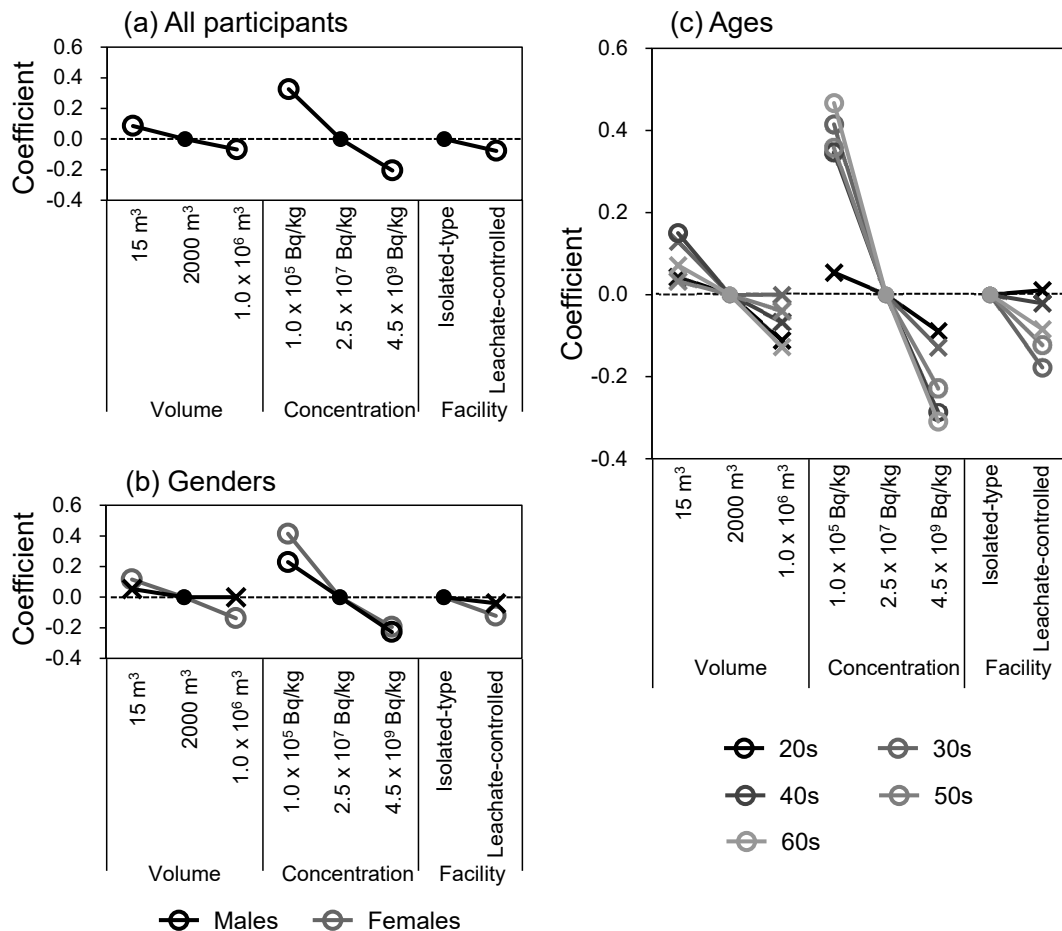


Fig. 3 Coefficient estimates by response type for (a) all participants, (b) genders, and (c) ages. The coefficients for 2000 m^3 , $2.5 \times 10^7 \text{ Bq/kg}$ and isolated-type disposal facilities were defined as references, and are shown by black circles. Open circles indicate statistical significance and cross marks indicate no statistical significance.

リオAの属性水準(処分量2000 m³、放射能濃度2500万 Bq/kg、遮断型相当処分場)を基準として、すべての属性水準が基準と5%水準で有意な差を示した。Fig. 3では、基準とした属性水準は●、有意な差がある属性水準は○、差がない属性水準は×で示した。処分量は、量が減るほど効用が増加した：2000 m³の効用を0とすると、15 m³では0.09、100万m³では-0.07であった。処分物の放射能濃度は大きいほど効用が減少した：2500万 Bq/kgの効用を0とすると、10万 Bq/kgの効用は0.3、45億 Bq/kgは-0.2であった。処分場の種類については、遮断型相当処分場の効用を0とすると、管理型相当処分場の効用は-0.08であった。参加者の選好に最も影響する属性は、最大と最小の効用値の差が最大の0.5となった、処分物の放射能濃度であった。処分量と処分場の種類はそれぞれ0.16、0.08であり、処分物の放射能濃度と比較すると相対的に重要視されない傾向にあった。

異なる属性をより重要視する参加者グループの有無を確認するため、性別、年代別の効用値をFig. 3b, cに示す。女性は3属性全てについて、効用に5%水準で有意な差(以下、有意な差とする)がみられた。一方で男性は、処分物の放射能濃度のみ効用に有意な差を示し、処分量と処分場の種類については水準による効用の差がなかった。年代については、20代はどの属性についても水準による効用の差がなかった。30代は、放射能濃度と処分場の種類に水準による効用に有意な差がみられ、10万 Bq/kgの効用値は基準とした2500万 Bq/kgより大きく、管理型相当処分場の効用値は基準とした遮断型相当処分場より小さかった。40代は、処分量と放射能濃度に水準による効用の差がみられ、15 m³の効用値は基準とした2000 m³より大きく、放射能濃度は高いほど効用値が小さかった。50代は、放射能濃度と処分場の種類に水準による効用に有意な差がみられ、放射能濃度は高いほど効用値が小さく、管理型相当処分場の効用値は基準とした遮断型相当処分場より小さかった。60代は、放射能濃度に水準による効用に有意な差がみられ、放射能濃度は高いほど効用値が小さかった。

(3) 3シナリオの相対的選好度

属性水準の効用値から算出したシナリオBおよびCの相対的選好をTable 3に示す。シナリオAを0としたとき、

シナリオBは0.18、シナリオCは-0.12であった。性別、年代別にシナリオ選好を計算すると、シナリオBは-0.05–0.26であり、最高評価は40代、最低評価は20代であった。シナリオCの評価値は-0.24–0.00であり、最高評価は30代、最低評価は60代であった。

4. 考察

(1) 減容化に関する重要要素

コンジョイント分析により、減容化適用によって変化する3要素それぞれの選好が明らかになった：処分量は少ない方が好ましい；処分物の放射能濃度は低い方が好ましい；処分場の種類はより管理が厳重なタイプが好ましい。Shirai et al.⁹⁾では、除去土壌等の処分物について、放射能濃度が高いほどリスク認知が高いことが確認されている。本研究で確認された低放射能濃度ほど選好が高いという傾向は、Shirai et al.⁹⁾の高放射能濃度ほど高リスク認知という傾向が選好性に影響したと予想される。ただし、本研究では質問中の放射能濃度に管理期間を併記しており、この処分物の放射能濃度に関する傾向が、10万 Bq/kg–45億 Bq/kgという放射能濃度か、110年–570年という管理期間のどちらに対する認識に強く影響されたかは不明である。Takada et al.⁷⁾による除去土壌等の県外最終処分場の社会受容に関する重要要素の調査で、減容化適用の有無による人々の選好に差が生じなかったのは、手続きの公正や分配的公正といった他の選択肢と比較して減容化適用の重要性が低かったことが理由であると推測される。

性別や年代によって3要素の選好度および相対的重要性は異なった。女性のほうが男性より選好が明確であり、少量、低放射能、管理が厳重な処分施設を好むことから、安全性を重視する傾向が示唆された。年代別では、年代高くなるほど選好が明確になる傾向がみられた。一般的に、女性のほうが男性よりリスク認知が高く、また若いほどリスク認知が低いことが知られており^{24,25)}、本結果と整合的である。

3要素のうち、参加者にとって最も重要視された要素は放射能濃度であった。3シナリオの相対的な選好は、処理費用の最小化を目指し、減容化の程度を抑えたシナリオBが最も高かった。これは処分量が多いおよび管理の厳重性が低い処分場であるというデメリットよりも、放

Table 3 Relative preference for Scenarios B and C, with Scenario A set to 0. Scenario A is based on current technology development.

	Total	Males	Females	20s	30s	40s	50s	60s
Scenario B								
Minimizing costs	0.18	0.19	0.16	-0.05	0.24	0.26	0.20	0.25
Scenario C								
Minimizing volume	-0.12	-0.17	-0.08	-0.05	0.00	-0.14	-0.19	-0.24

射能濃度が低いというメリットが上回ったことが理由である。減容化について、人々が処分量低減よりも放射性物質の濃縮（すなわち、放射能濃度の増加）を重要視することが本研究により初めて示された。シナリオの相対的な選好については、属性による違いはあるものの、基本的に高濃度濃縮しないシナリオのほうが、選好度が高い傾向を示した。

最終処分場の社会受容とシナリオによる違いについて、「自分の自治体で処分」という条件下では、どのシナリオでも賛成は3割程度であり、7割が反対であった。4件法（1＝反対である、4＝賛成である）での質問で、回答の平均値は約2であり、回答選択肢の中央値である2.5を下回った。Shirai et al.⁹⁾による2019年に行ったウェブアンケートでは、アンケートの事前説明文章が同一ではないものの、同様の質問文および回答選択肢において、除去土壌が2.01、焼却残さは1.99であった。全体として自分の自治体での除去土壌の処分を望まない人が多い傾向は過去3年間で大きく変化していないことが示唆される。3種のシナリオによる受容レベルの違いは明確ではなかったが（Fig. 2）、これは処分物の内容にかかわらず、「自分の自治体での処分」という条件への賛否が回答に大きく影響したため、シナリオへの選好の違いが反映されなかったためであると考えられる。したがって、社会受容に関連する技術的要素の選好は、各シナリオの受容に関する質問だけでなく、コンジョイント分析も組み合わせることで明らかになると言える。本結果は、少なくとも2023年の状況では減容化シナリオの選択により県外最終処分の社会受容が大きく異なる可能性は小さいが、一方で処分物の放射能濃度等、選択する減容化シナリオに影響を受ける要素には明らかに人々の選好が関係することを示している。

(2) 県外最終処分に向けて

本研究では、減容化適用が県外最終処分の社会受容に与える影響に着目し、減容化シナリオを構成する主要要素の相対的重要性を調べた。その結果、人々は減容化による処分量の低減効果や、より管理が厳重な処分場の採用より、処分物の放射能濃度が低いことを重要視することが分かった。さらに、人々の選好は減容化の程度を抑えたシナリオほど高くなり、Table 1に示した環境放射能除染学会の報告書¹⁶⁾においては減容化の程度を抑えた減容化シナリオBの選好が最も高くなった。しかし、社会受容の重要性が国際的にも高まっているとはいえ、社会受容性が意思決定における唯一の判断基準ではなく、あくまでも考慮すべき複数の指標の内の一つであることに注意が必要である。減容化適用に関連するシナリオ選定においても、経済性、温室効果ガス排出量、用地確保、

実務的な効率性等、他に考慮すべき要素が存在するため、幅広い側面からの総合的な判断が重要である。

一方で本研究は、減容化技術の適用による放射能濃度増加に対する人々の抵抗感や忌避感が、処分量低減のメリットで相殺されると認識しづらいことも明らかにした。この情報は、実際のシナリオの選定の参考になるだけでなく、候補地選定後のステークホルダーとのリスクコミュニケーションにおいても有用な情報となる。例えば、本研究結果は、以下のような状況が起こり得ることを示唆している：候補地の住民説明会において、実施者側が減容化技術の適用による処分量低減のメリットばかりを強調し、放射性物質の濃縮に対する人々の抵抗感や忌避感を慮らないと、住民の理解が得られない。このような状況を避けるためには、実施者側が事前に減容化のリスクに関し、透明性のある丁寧な説明の準備をした方が良好だろう。

また、減容化シナリオに関わらず、調査参加者の約7割が自身の自治体での最終処分に否定的な姿勢を示すこと、この傾向は少なくとも2019年から大きく変化していないことが明らかとなった。これについては、多くの先行研究で示されている通り、政府への信頼の低さやリスク認知の高さといった技術的以外の要素に受容が阻害されていることが考えられるため、信頼や手続きの公正等に配慮した意思決定を進めることも重要である^{26,27)}。

(3) 本研究の限界と今後の展望

本研究では、以下に示すような研究上の限界がある。第一に、本研究の調査参加者はオンライン調査会社に登録されたモニター約2000人であった。一般的に、オンライン調査参加者は、所得、学歴、その他の要因において一般集団とは異なる可能性が指摘されている²⁸⁾。そのため、郵送調査など他の方法で本結果の堅牢性を確認する必要がある。一方で、本研究で得られた年齢や性別によるリスク認知等の傾向は多くの既往研究と一致するものであり、本結果の傾向は調査手法によって左右されるものではないと考える。また、本手法のような量的調査では、人々の選好の傾向は明らかになるものの、人々がなぜそのように考えるのかという理由まではわからない。減容化技術適用に関連する社会受容に対する理解をより深めるためには、インタビュー調査など、本研究とは異なるアプローチも有用であろう。第二に、本調査は2023年8月の時点であり、2045年までに福島県外での最終処分を完了させることへの社会的認知度がさほど高くない状況下での調査である。環境省が2020年に福島県外の3500人に対して実施したウェブアンケートでは、参加者の約8割は、県外最終処分という政策を知らないと回答している²⁹⁾。2045年までに、最終処分政策の進め方（例

えば、候補地選定の決定プロセス)によって、国民の県外最終処分に対する認識や政策への賛否が大きく変化する可能性がある。また時間経過とともに社会的な認知および理解が進むにつれて、本研究で着目した要因の重要性や、処分場の社会受容が変化する可能性があるため、継続的な調査が必要である。

謝 辞

本研究の一部は、環境省・(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(JPMEERF22S20906)により実施しました。

文 献

- 1) IAEA: *Disposal of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. SSR-5*. IAEA (2011).
- 2) NEA: *Multifactor Optimisation of Predisposal Management of Radioactive Waste*. in *Proceedings of the NEA Joint Workshop* (2020).
- 3) ICRP: Radiological protection of people and the environment in the event of a large nuclear accident: update of ICRP Publications 109 and 111. ICRP Publication 146. *Ann. ICRP*, **49** (4), 11-135, (2020).
- 4) IAEA: *Remediation Strategy and Process for Areas Affected by Past Activities or Events*. IAEA (2022).
- 5) NEA: *Building a Framework for Post-Nuclear Accident Recovery Preparedness*. OECD Publishing (2022).
- 6) ICRP: Ethical foundations of the system of radiological protection. ICRP publication 138. *Ann. ICRP*, **47**, 1-65, (2018).
- 7) Takada M., Shirai K., Murakami M., Ohnuma S., Nakatani J., Yamada K., Osako M., Yasutaka T.: Important factors for public acceptance of the final disposal of contaminated soil and wastes resulting from the Fukushima Daiichi nuclear power station accident. *PLoS One*, **17** (6), e0269702 (2022), doi: 10.1371/journal.pone.0269702.
- 8) 大澤英昭, 広瀬幸雄, 大沼 進, 大友章司: フランスにおける高レベル放射性廃棄物管理方策と地層処分施設のサイト選定の決定プロセスの公正さ. 社会安全学研究, **4**, 51-76, (2014).
- 9) Shirai K., Takada M., Murakami M., Ohnuma S., Yamada K., Osako M., Yasutaka T.: Factors influencing acceptability of final disposal of incinerated ash and decontaminated soil from TEPCO's Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. *J Environ Manage*, **345**, 118610 (2023), doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118610.
- 10) Sjöberg L.: Local acceptance of a high - level nuclear waste repository. *Risk Analysis*, **24** (3), 737-749 (2004), doi.org/10.1111/j.0272-4332.2004.00472.x.
- 11) Slovic P.: Perception of risk. *Science*, **236** (4799), 280-285 (1987).
- 12) Slovic P., Layman M., Kraus N., Flynn J., Chalmers J., Gesell G.: Perceived risk, stigma, and potential economic impacts of a high - level nuclear waste repository in Nevada. *Risk Analysis*, **11** (4), 683-696 (1991), doi.org/10.1111/j.1539-6924.1991.tb00658.x.
- 13) 釜田陽介, 阿部清一, 川本克也, 由井和子, 倉持秀敏, 大迫政浩: 溶融技術による土壌等からのセシウム熱分離に関するプラント実証試験評価. 環境放射能除染学会誌, **3** (2), 49-64, (2015).
- 14) 野村直希, 関谷一輝, 三島史人, 秋山庸子, 西嶋茂宏: Csの物理的・化学的移行による土壌の減容化に関する研究. 環境放射能除染学会誌, **4** (4), 337-346, (2016).
- 15) 有馬謙一, 山田一夫, 大迫政浩, 保高徹生, 芳賀和子: 福島第一原子力発電所事故由来の放射性セシウムによる汚染物の処理・処分方法の総合的比較(第1報) 焼却残渣の熱処理・灰洗浄を含む減容化プロセスの定量的評価方法の開発. 環境放射能除染学会誌, **7** (4), 241-252 (2019).
- 16) 「県外最終処分に向けた技術開発戦略の在り方に関する研究会活動報告書 Ver.2」一般社団法人環境放射能とその除染・中間貯蔵および環境再生のための学会, http://khjosen.org/images/SRRCE_Report_ver2_20210914.pdf (参照 2023-11-30)
- 17) Luce R.D., Tukey J.W.: Simultaneous conjoint measurement: A new type of fundamental measurement. *Journal of Mathematical Psychology*, **1** (1), 1-27 (1964).
- 18) Alriksson S., Oberg T.: Conjoint analysis for environmental evaluation--a review of methods and applications. *Environ Sci Pollut Res Int*, **15** (3), 244-57 (2008).
- 19) Opaluch J.J., Swallow S.K., Weaver T., Wessells C.W., Wichelns D.: Evaluating Impacts from Noxious Facilities: Including Public Preferences in Current Siting Mechanisms. *J Environ Econ Manage*, **24** (1), 41-59 (1993).
- 20) 笹尾俊明: 住民の選好に基づいた廃棄物処分場設置のインパクト評価. 廃棄物学会論文誌, **13** (5), 325-333, (2002).
- 21) Krüti P., Stauffacher M., Pedolin D., Moser C., Scholz R.W.: The Process Matters: Fairness in Repository Siting For Nuclear Waste. *Social Justice Research*, **25**

- (1), 79-101 (2012).
- 22) McFadden D.: Conditional logit analysis of qualitative choice behavior. pp.105-142, Academic Press, (1973).
 - 23) R Core Team: R: A language and environment for statistical computing. (2022) <https://www.R-project.org/>.
 - 24) Slovic P.: Trust, Emotion, Sex, Politics, and Science: Surveying the Risk-Assessment Battlefield. *Risk Analysis*, **19** (4), 689-701 (1999).
 - 25) 高木 彩, 小森めぐみ: リスク認知と知識量の関連: 電磁波の事例における主観的知識量と客観的知識量の役割の検討. 社会心理学研究, **33** (3), 126-134, (2018).
 - 26) 横山実紀, 大沼 進, 近藤由基: 除去土壌再生利用の社会的受容に負担の不均衡緩和が及ぼす効果. 心理学研究, **91** (6), 378-387, (2021), doi.org/10.4992/jjpsy.91.19048.
 - 27) Leventhal G.S.: What should be done with equity theory?, in Social exchange. pp.27-55, Springer (1980).
 - 28) Fleming C.M., Bowden M.: Web-based surveys as an alternative to traditional mail methods. *Journal of Environmental Management*, **90** (1), 284-292 (2009).
 - 29) 「令和2年度WEBアンケート調査」環境省, http://josen.env.go.jp/chukanchozou/facility/effort/investigative_commission/pdf/promoting_communication_210202_03.pdf (参照 2023-11-30).

Original

Important Factors for the Public's Acceptance of the Volume Reduction of Radioactively Contaminated Soil and Wastes Resulting from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident

TAKADA Momo*, MINARI Eriko, MATSUMOTO Shinji, IWASAKI Yuichi,
SUZUKI Kaoru and YASUTAKA Tetsuo

• **Summary** • For the final disposal of 13.3 million m³ of contaminated soil and wastes resulting from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident of 2011, it is important to consider not only the technical development of volume reduction efforts for contaminated soil and wastes but also its public acceptance. In this study, a choice-based conjoint analysis using an online questionnaire was used to examine important factors related to the public's acceptance of the application of a volume-reduction technology. The survey covered the volume of material to be disposed of, the radioactivity concentration of the disposed material, and types of disposal facilities. Responses were obtained from 2026 residents in the Kanto region in August 2023. The results showed that respondents' preferences were greater for smaller disposal volumes, lower radioactivity concentrations, and more strictly controlled disposal facilities. Overall, respondents' preference was greater for a scenario with a lower degree of volume reduction. That is, they considered a lower radioactivity concentration to be more important than the reduction in the amount of material disposed of through the use of a volume-reduction technology or the use of a more strictly controlled disposal facility. Our study identified that public resistance and aversion to increased radioactivity concentrations due to volume reduction are difficult to offset by the benefits of reduced disposal volume, which is useful information not only for actual scenario selection, but also for risk communications with stakeholders after candidate sites have been selected.

Key Words: conjoint analysis, online survey, final disposal, Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident

Received December 4, 2023; Accepted April 8, 2024

*Corresponding author: Address: Institute for Geo-Resources and Environment, Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki, 305-8567, Japan
E-mail: momo.takada@aist.go.jp



Appendix 1. 除去土壌等の最終処分に関する事前説明

【原発事故由来の放射性物質を含む土壌等に関するアンケート】

概要説明

◇放射性セシウムによる環境汚染

2011年3月に発生した東日本大震災による地震と津波の影響により、東京電力福島第一原子力発電所事故(以下、「原発事故」という)が発生しました。この原発事故により、放射性物質が大気中に放出され、福島県を中心に、東北地方、関東地方の一部の地表や建物、樹木、土壌等を汚染しました。

◇環境除染

事故由来の放射性物質による汚染が、人の健康又は生活環境に及ぼす影響を低減するため、福島県を中心に環境中から放射性物質を取り除く「除染」が2012年から約5年かけて実施され、放射性物質を含む土壌や廃棄物が発生しました(これらをまとめて、政策上「除去土壌等」と呼ばれていますので、以下の説明でもこの用語を使います)。現在までに除去土壌等の多くは、福島第一原子力発電所の隣接地に建造された中間貯蔵施設に運び込まれています。

◇現在の状況と今後

中間貯蔵施設に保管された除去土壌等は、中間貯蔵開始後30年以内(2045年まで)に、福島県外で最終処分を完了することが法律で決まっています。

最終処分については、中間貯蔵開始後30年以内に福島県外で処分されること以外、決まっていることはなく、最終処分地の数(1箇所なのか、複数箇所なのか)やどのような手続きで決めるのか、も決まっていません。また、最終処分の対象となる除去土壌の量を減らすため、汚染の程度が低い除去土壌について、安全性を確保しつつ、再生利用も検討しています。

以下のアンケートでは、除去土壌等への対応について、皆様のご意見をお聞きするものです。