

環境研究総合推進費補助金
循環型社会形成推進研究事業
総合研究報告書

震災に伴う人工資本・自然資本ストックの損失と対策の評価
(3K143015)

平成 26 年度～平成 28 年度

Studies on Estimating the Earthquake Damage of Human-made and Natural Capital Stock
with Evaluation of Countermeasures

平成 29 年 5 月

神戸大学 田畑 智博

震災に伴う人工資本・自然資本ストックの損失と対策の評価
(3K143015)

I. 成果の概要	・ ・ ・ ・ ・ i
1. はじめに (研究背景等)	
2. 研究目的	
3. 研究方法	
4. 結果及び考察	
5. 本研究により得られた主な成果	
6. 研究成果の主な発表状況	
7. 研究者略歴	
II. 成果の詳細	
要旨	・ ・ ・ ・ ・ 1
1. はじめに	・ ・ ・ ・ ・ 2
2. 研究目的	・ ・ ・ ・ ・ 3
3. 研究方法	・ ・ ・ ・ ・ 4
4. 結果及び考察	・ ・ ・ ・ ・ 3 6
5. 本研究により得られた成果	・ ・ ・ ・ ・ 8 8
6. 国際共同研究等の状況	・ ・ ・ ・ ・ 9 0
7. 研究成果の発表状況	・ ・ ・ ・ ・ 9 0
8. 引用文献	・ ・ ・ ・ ・ 9 7
研究概要図	・ ・ ・ ・ ・ 1 0 3
英文概要	・ ・ ・ ・ ・ 1 0 4

補助事業名 環境研究総合推進費補助金循環型社会形成推進研究事業（平成 26 年度～平成 28 年度）

所管 環境省

研究課題名 震災に伴う人工資本・自然資本ストックの損失と対策の評価

課題番号 3K143015

研究代表者名 田畑智博（神戸大学）

国庫補助金 68,608,832 円（うち平成 28 年度：19,763,418 円）

研究期間 平成 26 年 5 月 30 日～平成 29 年 3 月 31 日

本研究のキーワード 大規模自然災害、南海トラフ巨大地震、人工資本ストック、自然資本ストック、ロストストック、ロストストック発生抑制対策、災害廃棄物、処理・リサイクル、環境・経済評価、自助・共助・公助、社会関係資本

研究分担者 佐藤真行（神戸大学）
大西暁生（東京都市大学）
佐伯 孝（富山県立大学）
川本清美（北海道教育大学）

研究協力者 蔡 佩宜（神戸大学）
佐尾博志（国立環境研究所）

研究概要

1. はじめに（研究背景等）

我が国において持続可能な社会の実現方策を検討する場合、避けられないのが台風や地震に代表される大規模自然災害の存在である。我が国では、毎年、大なり小なり数多くの自然災害が発生する。大規模自然災害の発災前に、事前に検討しておくべきことは、発災に伴う被害を最小限に抑制し、地域住民が一日でも早くもとの生活に戻れるように、社会のレジリエンス（復元力・回復力）を如何に高められるかということである。その際、保護すべき財産として、都市に存在する建築物やインフラ、家庭でいえば住居や家財等が挙げられる。これらは、いわゆる人工資本ストックである。また、人工資本だけでなく、自然資本も存在することも念頭に置くべきである。自然資本ストックには、森林資源、土壌資源等が含まれている。これらの人工資本・自然資本ストックは発災により失われる（ロストストック）が、失われたストックを元通り回復させるには多大なる時間や費用が必要である。これを避けるためには、人工資本・自然資本の各ストックがどれだけ都市に蓄積されているのかを把握するとともに、ロストストックを最小限に食い止めるための対策を検討するべきである。

また、ロストストックのうち、消失分や津波による外洋流出分等を除く分が、災害廃棄物として収集・処理される。震災等に伴い変則的に発生する災害廃棄物の適切な管理は、持続可能な社会の構築に向けて避けられないものである。都市の復旧・復興のために災害廃棄物は迅速な撤去・処理を行うことが望ましいとはいえ、コストや環境負荷を度外視することは望まれない。また、災害廃棄物の撤去作業等において、自治体だけが関与するには限界がある。被災住民や自治会・町内会、ボランティア等による撤去作業等への関与を考慮しながら、発災後の公助の限界を補完する自助・共助の役割についても議論が必要である。

2. 研究開発目的

以上を踏まえ、本研究課題では、次に挙げる三点の問題意識とこれを踏まえた研究開発目的を示す。

【問題意識】

- ① 自然災害に伴い、都市に存在する人工資本・自然資本がどれくらい失われるか？防災対策により損失をどれくらい抑制することができるか？
- ② 失われたストックのうち、自治体の収集対象となる災害廃棄物はどれくらいになるか？

- ③ 自治体が計画した災害廃棄物処理に係る対策を実行に移した場合、環境負荷、コストはどれくらいになるか？対策のフィジビリティを検討できるか？

【研究開発目的】

- (1) 都市規模、人口等を考慮して、人工資本ストックの損失分を推計するための方法を提案すること（問題意識①、②に対応）
- (2) 発災による自然資本ストックの損失分を明らかにすること（問題意識①に対応）
- (3) 自治体の災害廃棄物処理に係る対策を環境面・コスト面から評価するための方法を提案すること（問題意識②、③に対応）

上述した問題意識、研究開発目的を達成するために、本研究課題では、以下に示す4課題を設定した。

- (1) 人工資本ロスストック発生量予測のための都市ストックモデルの構築
 - ・・・都市の人口、建築物のストック量を元に、発災に伴う地震、津波、地すべりの各種被害予測結果を利用して人工資本のロスストック量を推計するためのモデルを構築する。発災時期には不確実性が生じることを考慮して、モデルは、現状での発災を仮定するだけでなく、将来の人口変化、建築物ストック量の変化を考慮して、将来のある時点での発災を仮定した場合のロスストック量の将来推計も実施可能なものとする。また、地理情報システムを利用することで、ロスストック量の空間分布を可視化する。加えて、家屋移転や発災後の防潮施設の機能維持のような対策が、ロスストック量の抑制にどのような効果を及ぼすかを検討する。
- (2) 自然資本ロスストック発生量予測とその対策
 - ・・・発災に伴う森林資源のロスストック量を推計するとともに、地理情報システムを利用することで、ロスストック量の空間分布を可視化する。また、地域住民が失われる森林資源の価値をどのように考えているかを明らかにする。加えて、森林資源や人工資本の損失抑制に係る対策として防潮堤の改修に焦点を当て、地域住民の指示を得やすい改修案を検討する。
- (3) 災害廃棄物処理システムの環境的・経済的評価方法の開発
 - ・・・ライフサイクルアセスメント、ライフサイクルコストの考え方を災害廃棄物処理システムに適用するための方法論を開発する。また、環境的・経済的評価に係る各種原単位を整備する。自治体が計画している災害廃棄物処理対策をベースとして災害廃棄物処理のシミュレーションを行うことで、対策の実行可能性を検討するとともに、対策の実施により顕在化する可能性のある課題や検討すべき点等を考察する。
- (4) 災害廃棄物の撤去・収集・広域処理等に係る住民意識の評価
 - ・・・災害廃棄物の撤去費にかかる自治体負担の発生を避けるために、地域住民が自助、あるいは隣人、町内会等との共助により撤去・収集に係る作業に関わることが可能かどうかを、社会関係資本の観点から検討する。また、災害廃棄物の広域処理を検討する際に、広域処理受け入れ地域の地域住民がどのような反応を示す可能性があるかについて住民意識の構造化を行う。

3. 研究方法

（1）人工資本ロスストック発生量予測のための都市ストックモデルの構築

都市構造、人口の将来変化等を考慮して、各種自治体における人工資本ストックの損失量の推計に適用できる汎用的なモデルを構築した。モデルでは、将来の人口、世帯数の変化をもとに、将来の住宅の需要量、廃棄量や残存量を推計することができる。本モデルで推計した人工資本ストック量に、地震・津波のハザードマップを重ね合わせることで、神奈川県、静岡県西部、高知県、三重県における発災による建築物のロスストック量を推計した。また、建物耐震化や沿岸部からの撤退に関する対策、防潮施設の機能を考慮したロスストックの抑制効果を試算した。

（2）自然資本ロスストック発生量予測とその対策

東日本大震災での実績値等を参考にしながら、南海トラフ巨大地震の被害想定地域において、発災に伴う自然資本ストックの損失面積と機能の喪失に伴う価値を算出した。また、地域住民へのアンケート調査に基づき、森林資源が損失することによる機能喪失に伴う価値を算出し、市町村別での喪失価値の違いを明らかにした。さらに、4（1）節において発災後も防潮施設の機能が維持されることが人工資本ストックのロスストック抑制に効果があることを踏まえ、防潮施設の改修に伴い想定される被災地域の住民の環境やリスクに対する選好を評価し、環境保全と調和的な防災施策を考察した。

（3）災害廃棄物処理システムの環境的・経済的評価方法の開発

人工資本ストックの損失量のうち、自治体の収集・処理対象となる災害廃棄物量を推計した。ここでは、人工資本ストックの損失分から海洋流出等により収集できない分を除外した分を、自治体が収集・処理対象とす

る災害廃棄物量として定義し、東日本大震災の被災自治体における、流出家屋と自治体による収集量との関係性を調査した。

続いて、各種自治体で災害廃棄物処理に関する対策の環境的・経済的評価を実施できる汎用的な方法を構築した。ここでは、ライフサイクルアセスメント、ライフサイクルコストの考え方を災害廃棄物処理に応用し、災害廃棄物発生量の空間分布をもとに仮置場・処理施設の設置場所を考慮した輸送ネットワークの構築を行う方法を提案した。また、環境的・経済的評価を実施するために必要な各種プロセスの原単位を整理するとともに、熊本県、三重県南伊勢町、三重県全域における災害廃棄物処理システムの評価を行った。

（４） 災害廃棄物の撤去・収集・広域処理等に係る住民意識の評価

４（３）節における三重県でのケーススタディでは、災害廃棄物の撤去にかかるコストは無視できないことが示された。これにかかる自治体負担を抑制するために、被災住民や任意団体による自助・共助が撤去作業にどれだけ関与できるかを明らかにした。ここでは、全国自治体や東日本大震災の被災自治体に居住する住民等へのアンケート調査に基づき、コミュニティ力と災害廃棄物撤去との関係性や社会関係資本に関する評価を行った。

続いて、同様に４（３）節における三重県でのケーススタディにおいて広域処理の実施が避けられないという判断をもとに、災害廃棄物の広域処理を検討する際に、受入自治体が地域住民とリスクコミュニケーションを実施する際の判断材料を検討した。これは、災害廃棄物の広域処理は必須であるが、広域処理に伴う利点やリスク等を受入地域の住民に説明し、受入に関する合意形成を行う必要がある、と判断したためである。ここでは、南海トラフ巨大地震の想定地域である三重県、兵庫県居住者へのアンケート調査に基づき、テキストマイニングを用いて災害廃棄物の受入に対する住民意識を構造化した。

４． 結果及び考察

（１） 人工資本ロスストック発生量予測のための都市ストックモデルの構築

３．１節で構築したモデルを利用し、防潮施設に着目して、人工資本ストックの損失を抑制する対策の効果を試算した。一例として、三重県では、防潮施設が機能する場合と機能しない場合を想定してハザードマップを作成している。ここでは、防潮施設が機能するかしないかによる建物の損失量を推計した。その結果、発災後も堤防が健全である場合と発災後に堤防が破壊される場合とでは、損失量が約 2.6 倍異なることがわかった。

三重県では、改修を必要とする防潮堤を定めているが、住宅の損失が多い場所とほぼ重なっている。防潮施設の改修は、生命、地域住民の財産保護だけでなく、建築物の損失抑制の観点からも重要な対策となりえることを明らかにした。また、以上の研究により、発災に伴う人工資本ストックの損失量の現状把握や将来推計に貢献できる基礎的知見を得た。

（２） 自然資本ロスストック発生量予測とその対策

三重県での森林資源を対象としたケーススタディを行った結果、地震、津波被害による森林資源の損失量は、県の森林面積の約 2.2%に相当することがわかった。なお、東日本大震災時の宮城県における損失量は約 0.1%であるものの、これでも多いと言われており、今回の結果は相当のダメージが発生する可能性があるということが伺える。

続いて、森林資源が損失することによる機能喪失に伴う価値を算出した結果、現状では、発災に伴う森林資源の損失は人工資本に比べて重要視されていないものの、発災に伴う森林資源の損失量および喪失価値の現状把握を実施することの重要性を示すための基礎的知見を得た。

防潮施設の改修に伴い想定される被災地域の住民の環境やリスクに対する選好結果については、南海トラフ地震の対策には自然資本への配慮も求められることが示唆された。阪神淡路大震災や東日本大震災においては人工資本ストックの被害ならびにその回復に焦点が限られがちであったが、自然資本ストックの動向把握と保全も重要である。これらの成果は、災害対策に対して災害リスクと環境評価の観点からの住民ニーズを知るうえでの基礎的な資料となる。

（３） 災害廃棄物処理システムの環境的・経済的評価方法の開発

東日本大震災の被災自治体における流出家屋と自治体による収集量との関係性を調査した結果、可燃物の約 50%が外洋に流出した可能性があることがわかった。なお、2011 年の和歌山県豪雨では、発生した災害廃棄物のうち、自治体収集量は約 60～70%だった可能性があることがわかっており、今回の結果はこれに近い数字になっ

ている。これにより、津波被害の有無を考慮した、災害廃棄物の収集量や処理経費の推計に貢献できる基礎的知見を得た。

続いて、災害廃棄物処理に関する対策の環境的・経済的評価方法を用いて、三重県の南海トラフ巨大地震を想定した災害廃棄物処理に適用した。ここでは、三重県が災害廃棄物処理計画で想定している処理対策をベースにし、処理期間を3年と設定し、県内で自区内もしくは広域による処理を行うと想定した。まず、三重県の想定に基づき仮置場の過不足に関する調査を行った結果、仮置場が不足する地域が発生し広域処理が必須となること、防潮施設が機能しない場合は仮設焼却施設の設置が必須となることがわかった。次に、可燃物の処理に係る環境負荷、コストを算出した。結果より、防潮施設改修による災害廃棄物発生抑制は、仮設焼却に伴うCO₂、コストの抑制の観点からも重要であること、もし自治体が災害廃棄物の撤去を負担する場合、撤去に係るコストは無視できないことが分かった。以上より、本評価方法を用いて、災害廃棄物処理に関する対策の実施効果の評価や課題の抽出に利用するための基礎的知見を得た。

(4) 災害廃棄物の撤去・収集・広域処理等に係る住民意識の評価

東日本大震災の被災自治体での調査結果では、住民による災害廃棄物搬入量と自治会・町内会の加入率には正の相関が見られた、このことから、任意団体への加入率が高い自治体ほど、災害廃棄物の撤去が円滑に進む可能性があることが伺える。また、自治体がコミュニティに対して期待することの調査結果のコーレスポネン分析を行った結果では、自治体はコミュニティの自助・共助に期待していることが伺えた。一方、東日本大震災の被災住民に対する調査では、災害後は、若年層や高齢層男性は共助を活用することで作業の効率性を高める傾向がみられた。一方、中年層は自助を志向することで、作業の効率性が低下する傾向がみられた。自治体としては、任意団体への加入率や地域のつながりを考慮しながら、地域コミュニティ力の向上に係る対策を検討することが重要であることが示唆された。以上の研究より、特に発災直後の自治体による活動が困難な期間内に、自助・共助に基づく地域コミュニティと自治体との協力体制の構築を実施するための基礎的知見を得た。

続いて、災害廃棄物の広域処理受入に対する住民選考を調査した結果、被災地での分別後の受け入れ、災害廃棄物の安全性に関する情報の公開が、合意形成のカギになる可能性があることが伺えた。以上の結果から、広域処理の受入自治体が住民とリスクコミュニケーションを実施する際の判断材料に利用できる基礎的知見を得た。

5. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

- 都市に存在する住居ストックや人口等のデータをもとに、どの自治体でも人工資本ストックの損失量が推計できる汎用的な方法を提案した。本方法を用いて、人工資本ストックの損失量を推計するとともに、沿岸部の撤退による津波由来のストックの損失抑制等に係る対策を検討することが可能な基礎的知見を得た。
- 地域住民が考える森林資源の価値に関する調査を行うことで、発災に伴う森林被害の発生面積、被害金額を検討することが可能な基礎的知見を得た。
- 津波に伴う災害廃棄物の外洋流出量を推計することで、津波被害を踏まえた災害廃棄物の発生量やその組成を検討することが可能な基礎的知見を得た。
- ライフサイクルアセスメント、ライフサイクルコストの各方法を応用し、災害廃棄物の撤去、輸送、処理を一つのシステムとして統合化し、環境面・経済面の評価が可能な方法を提案した。また、評価を実施するための汎用性のあるデータを整理した。本方法を用いることで、災害廃棄物処理を検討する際には特に都市域大気汚染への対応が必要であることを示した。
- アンケート調査に基づき、災害廃棄物の収集・分別・運搬と社会関係資本の関係性を検討することが可能な基礎的知見を得た。
- アンケート調査に基づき、広域処理の受入自治体に居住する住民が、どのような災害廃棄物であれば受入に前向きに検討するかを分析することが可能な基礎的知見を得た。

(2) 環境政策への貢献

- 自治体における将来の人口減少・住宅ストック等を考慮した人工資本ストック量の推計モデルは、発災に伴う人工資本ストックの損失量の現状把握や将来推計に貢献できる可能性がある。

- 自治体における将来の人口減少・住宅ストック等を考慮した人工資本ストック量の推計モデルは、津波被害地域からの撤退や耐震化等の対策による廃棄物発生抑制効果の試算に貢献できる可能性がある。
- 森林被害の推計モデルは、発災に伴う自然資本ストックの損失量および被害価値の現状把握に貢献できる可能性がある。
- 津波被害を考慮した災害廃棄物発生量の推計モデルは、被害の程度を考慮した災害廃棄物の収集量や処理経費の推計に貢献できる可能性がある。
- 災害廃棄物処理システムの環境的・経済的評価モデルは、地方公共団体の災害廃棄物処理計画の作成やフィジビリティの評価に貢献できる可能性がある。
- 防潮施設の改修有無による災害廃棄物発生量の推計結果は、災害廃棄物の発生抑制を考慮した防潮施設の改修計画に貢献できる可能性がある。
- 災害廃棄物の撤去・運搬に地域コミュニティが果たす役割の検討結果は、発災直後の自治体と地域コミュニティとの自助・共助による協力体制の構築方法の検討に貢献できる可能性がある。
- 広域処理受入地域の住民感情の評価は、広域処理の受入自治体が住民とリスクコミュニケーションを実施する際の情報提供に貢献できる可能性がある。

<行政が既に活用した成果>

- 三重県志摩市の環境基本計画策定委員会における環境基本計画策定にかかる検討において、本研究成果である、発災に伴う都市における人工資本ストック損失量の推計モデルの試算結果を提示し、環境基本計画策定委員会の答申作成に貢献した（平成 28 年度志摩市環境基本計画において、災害廃棄物処理計画に基づく防災機能の強化に関する記述がなされた。）

<行政が活用することが見込まれる成果>

- 人工資本ストック量の推計モデルは地理情報システムソフトウェア（有償もしくは無償）、地理情報データ（無償）を組み合わせることで実施可能であり、これを利用することで、津波被害地域からの撤退や耐震化等の対策による廃棄物発生抑制効果の試算が可能である。
- 発災に伴う自然資本ストックの損失量および被害価値の現状把握、その抑制対策を検討することが可能である。
- 災害廃棄物処理システムの環境的・経済的評価モデルは、地方公共団体の災害廃棄物処理計画の作成やフィジビリティの評価に貢献できる可能性がある。
- 防災だけでなく、発災後の災害廃棄物の撤去等の観点から、地域に存在する町内会や自治会の存在意義の見直し、地域住民の繋がりの維持に係る町内会や自治会のあり方を検討することができる。

6. 研究成果の主な発表状況

（１）主な誌上発表

<査読付論文>

- 1) 川本清美：メディアが若年層の地域地震防災行動形成に与える影響構造分析，社会技術研究論文集，Vol. 12, pp. 43-50, 2015.
- 2) 田畑智博，張 欧，山中優奈，蔡 佩宜：統計・ウェブ情報を用いた耐久消費財由来の災害廃棄物発生原単位の推計とその利用，土木学会論文集 G(環境)，Vol. 71, pp. II_441-II_449, 2015.
- 3) 水野怜那，佐尾博志，大西暁生：神奈川県における浸水発生に適応した住宅の再配置による被害額の軽減効果，水文・水資源学会誌，Vol. 28, No. 5, pp. 245-260, 2015.
- 4) 川本清美：地震災害時の地域内共助行動に影響するソーシャル・キャピタルシミュレーション，地域学研究，Vol. 45, No. 3, 293-304, 2015.
- 5) Tabata, T., Zhang, O., Yamanaka, Y., Tsai, P.: Estimating potential disaster waste generation for pre-disaster waste management, Clean Technologies and Environmental Policy, Accepted.
- 6) Kawamoto, K. and Kim, K.: Social capital and efficiency of earthquake waste management in Japan, International Journal of Disaster Risk Reduction, Vol. 18, pp. 256-266, 2016.
- 7) 大西暁生：鬼怒川の浸水想定区域を対象とした水害廃棄物発生量の推計，計画行政，Vol. 39, No. 4, pp. 33-44, 2016.

- 8) Tabata, T., Wakabayashi, Y., Tsai, P., Saeki, T.: Environmental and economic evaluation of pre-disaster plans for disaster waste management: Case study of Minami-Ise, Japan, Waste Management, Vol. 61, pp.386-396, 2017.
- 9) 蔡 佩宜, 田畑智博, 白川博章: 将来発生しうる災害廃棄物の広域処理受け入れに関する住民意識の分析: リスクコミュニケーション実施時における判断材料としての利用を想定して, 都市清掃, accepted.
- 10) 前田真佐樹, 大西暁生: 静岡県西部地域における災害廃棄物の発生量の把握とその対策による軽減効果の検討 - 南海トラフ巨大地震のケース -, 土木学会論文集 G, accepted.

(2) 主な口頭発表 (学会等)

- 1) 佐伯 孝, 佐野隼翼, 蔡 佩宜, 田畑智博: 災害時に発生する廃棄物の発生・処理に関する研究, 第 10 回日本 LCA 学会研究発表会, 2015.
- 2) 蔡 佩宜, 田畑智博, 白川博明: 災害廃棄物の広域処理受け入れに対する住民意識の調査, 第 26 回廃棄物資源循環学会研究発表会論文集, pp.161-162, 2015.
- 3) 佐尾博志, 牧歩高, 前田真佐樹, 大西暁生: 将来の社会状況下における南海トラフ巨大地震による住宅地被害額の推計—三重県のケース—, 環境科学会 2015 年会, p. 74, 2015.
- 4) H. Sao, R. Mizuno, A. Onishi: Estimates of disaster waste and damage costs from great earthquakes along the Nankai Trough: The case of Kanagawa prefecture, pp.958-961, 9th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, 2015.
- 5) 佐伯 孝, 今井晃一: 産業廃棄物処理施設を活用した災害廃棄物処理に関する研究, 第 11 回日本 LCA 学会研究発表会, pp.168-169, 2016.
- 6) Kawamoto, K. and Kim, K.: Social capital networks and efficiency of earthquake waste management in Japan, Proceedings of the CECAR7, CD-ROM, 2016.
- 7) Masayuki Sato, Toshifumi Minamoto and Atushi Ushimaru: Ecosystem service valuation in urban area: Case study of Mt. Rokko, Kobe, Japan, the 6th Congress of East Asian Association of Environmental and Resource Economics, 2016.
- 8) 大西暁生, 石丸加奈子, 田畑智博, 佐伯 孝, 佐尾博志: 東日本大震災の災害廃棄物処理における自治体・地域コミュニティの役割について, 環境科学会 2016 年会, p. 75, 2016
- 9) 佐藤真行, 青島一平, 金谷 遼: 都市における生態系サービスとディスプレイサービス, 環境経済・政策学会 2016 年大会, 2016.
- 10) 石丸加奈子, 大西暁生, 田畑智博, 佐伯 孝, 佐尾博志: 災害廃棄物処理から考えるコミュニティの力と災害に強いまちづくりの提案, エコデザイン・プロダクツ&サービス 2016 シンポジウム, pp.156-157, 2016.
- 11) Tabata, T., Wakabayashi, Y., Tsai, P.: Environmental and economic evaluation of disaster waste management, Proceedings of the 20th Conference on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction 2017(予定).
- 12) Kiyomi Kawamoto and Karl Kim: Differences between Bonders, Bridgers, and Linkers: Cleaning up After Disasters in Japan, 25th Pacific Conference of the RSAI, Tainan, Taiwan, 2017(Accepted).

7. 研究者略歴

研究代表者: 田畑 智博

名古屋大学大学院環境学研究科修了、博士(工学)、現在、神戸大学大学院人間発達環境学研究科准教授

研究分担者

1) 佐藤 真行

京都大学大学院経済学研究科修了、博士(経済学)、現在、神戸大学大学院人間発達環境学研究科准教授

2) 大西 暁生

名古屋大学大学院環境学研究科修了、博士(工学)、現在、東京都市大学環境学部准教授

3) 佐伯 孝

豊橋技術科学大学大学院環境・生命工学専攻修了、博士(工学)、現在、富山県立大学工学部講師

4) 川本 清美

名古屋大学大学院環境学研究科修了、博士(工学)、現在、東洋大学情報連携学部准教授

本研究課題実施時の所属は、北海道教育大学教育学部函館校国際地域学科准教授

3K143015 震災に伴う人工資本・自然資本ストックの損失と対策の評価

[要旨]

本研究課題は、震災に伴う人工資本・自然資本ストックの損失量の評価方法を開発すること、ストックの損失を抑制するための対策を提案し評価すること、評価環境的・経済的側面から発災に伴い発生する災害廃棄物の処理対策の評価手法を開発することを目的とする。これを実施するため、南海トラフ巨大地震の発災および三重県等の被害想定地域を事例として、(1)人工資本ロストストック発生量予測のための都市ストックモデルの構築、(2)自然資本ロストストック発生量予測とその対策、(3)災害廃棄物処理システムの環境的・経済的評価方法の開発、(4)災害廃棄物の撤去・収集・広域処理等に係る住民意識の評価、に関する研究を実施した。

以上の検討により得られた結果として、(1)については、都市の人口や建築物ストック等の将来変化を考慮した人工資本ストック(建築物、インフラ)の損失量の予測を実施できるモデルを構築した。本モデルを用いることで、発災時期を考慮した損失量の推計が可能となった。また、沿岸部住居の移転や防潮施設の機能強化が損失量の削減に及ぼす影響をシミュレーションした。(2)については、発災に伴う自然資本ストック(森林資源)の損失量を推計するとともに、森林資源の多面的機能の喪失に伴う価値を、地域住民へのアンケート調査に基づき定量化した。また、防潮施設の改修による機能強化に係る対策を、震災リスクの低減や改修費用等から複合的に評価する方法を提案した。(3)については、人工資本ストックの損失量のうち、津波被害による可燃物の外洋流出量をもとに、自治体が収集・処理対象とする災害廃棄物量の推計方法を提案した。また、ライフサイクルアセスメント(LCA)、ライフサイクルコスト(LCC)の各手法を応用した災害廃棄物処理システムの構築方法を提案し、自治体の災害廃棄物処理対策の実施に伴う環境負荷やコストを推計できる枠組みを開発した。(4)については、地域における任意団体の存在が自助・共助による災害廃棄物の撤去に正に影響する可能性があることが示された。また、広域処理の受け入れ地域における地域住民とのリスクコミュニケーションを実施する際には、被災地での分別後の受け入れ、災害廃棄物の安全性に関する情報の公開が重要となることが示された。

1. はじめに

我が国において持続可能な社会の実現方策を検討する場合、避けられないのが台風や地震に代表される大規模自然災害の存在である。我が国では、毎年、大なり小なり数多くの自然災害が発生する。また、地震に着目すると、阪神・淡路大震災(1995 年)、新潟県中越地震(2004 年)、中越沖地震(2007 年)、東日本大震災(2011 年)、熊本地震(2016 年)が発生している。特に東日本大震災(東北地方太平洋沖地震)は我が国での観測史上最大の地震であり、岩手県、宮城県、福島県の 3 県を中心に、死者数 19,533 人、行方不明者数 2,585 人、住宅被害 1,159,906 棟(全壊・半壊・一部破損・床上床下浸水含む)という未曾有の被害が発生した¹⁾。今後、我が国で発生が危惧されている大規模自然災害として、首都直下型地震と南海トラフ巨大地震がある。両者とも、文部科学省地震調査研究推進本部により、2012 年 1 月 1 日時点において、30 年以内の地震発生確率が 70%であると予測されている。これらの地震に伴い被害が予測されている地域は、関東地方から九州地方までの太平洋ベルト地帯が中心となっており、人命のみならず政治・経済活動に甚大なる被害が発生することが想像に難くない。

大規模自然災害の発災前に、事前に検討しておくべきことは、発災に伴う被害を最小限に抑制し、被災地に居住する住民が一日でも早くもとの生活に戻れるように、社会のレジリエンス(復元力・回復力)を如何に高められるかということである。その際、人命・財産の保護やライフライン等の保護や復旧に関する対策を検討することが求められる。保護すべき財産としては、その都市に存在する建築物やインフラ、家庭でいえば住居や家財等が挙げられる。これらは、いわゆる人工資本ストックである。これらの人工資本ストックは我々が経済活動を行ったり、日常生活を送るうえで欠かせないものである。また、人工資本だけでなく、自然資本も存在することも念頭に置くべきである。自然資本ストックには、森林資源、土壌資源等が含まれている。自然資本ストックは生態系サービスの基盤となるものであり、我々の生活に欠かすことはできない。これらの人工資本・自然資本ストックは発災により失われる(ロストストック)が、失われたストックを元通り回復させるには多大なる時間や費用が必要である。これを避けるためには、人工資本・自然資本の各ストックがどれだけ都市に蓄積されているのかを把握するとともに、ロストストックを最小限に食い止めるための対策を検討すべきである。なお、自然資本ストックは、防潮施設の建設等にかかる防災対策の実施段階や発災後の建築物やインフラの復旧段階において、土、砂利等の形態として消費される(いわゆる復旧時に発生するロストストック)性質も有していることに留意すべきである。

また、ロストストックのうち、消失分や津波による外洋流出分等を除く分が、災害廃棄物として収集・処理される。震災等に伴い変則的に発生する災害廃棄物の適切な管理は、持続可能な社会の構築に向けて避けられないものである。都市の復旧・復興のために災害廃棄物は迅速な撤去・処理を行うことが望ましいとはいえ、コストを度外視することは望まれない。また、災害廃棄物のリサイクルを最大限行うことは言うまでもないが、災害廃棄物の輸送時や処理時に地球温暖化や大気汚染等に関する環境負荷が発生することに留意が必要である。これらの環境負荷の発生を無視することは、局所的・地球規模的での環境問題を無視することに繋がりがかねない。特に局所的な環境負荷は、被災地の住民や作業者に二次被害のような影響を及ぼす可能性があり、可能な限り避けなければならない。そのためにも、災害廃棄物の環境的・経済的に合理的な処理・リサイクル体制の体系的な検討が重要である。また、災害廃棄物の撤去作業等において、自治体だけが関与するには限界がある。被災住民や自治会・町内会、ボランティア等による撤去作業等への関与を考慮しながら、発災後の公助の限界を補完する自助・共助の役割についても議論が必要である。

2. 研究目的

以上を踏まえ、本研究課題では、次に挙げる三点の問題意識を示す。

【問題意識】

- ① 自然災害に伴い、都市に存在する人工資本・自然資本がどれくらい失われるか？防災対策により損失をどれくらい抑制することができるか？
- ② 失われたストックのうち、自治体の収集対象となる災害廃棄物はどれくらいになるか？
- ③ 自治体が計画した災害廃棄物処理に係る対策を実行に移した場合、環境負荷、コストはどれくらいになるか？対策のフィジビリティを検討できるか？

以下に、上述の問題意識を踏まえた、本研究課題の研究開発目的を示す。

【研究開発目的】

- (1) 都市規模、人口等を考慮して、人工資本ストックの損失分を推計するための方法を提案すること(問題意識①、②に対応)
- (2) 発災による自然資本ストックの損失分を明らかにすること(問題意識①に対応)
- (3) 自治体の災害廃棄物処理に係る対策を環境面・コスト面から評価するための方法を提案すること(問題意識②、③に対応)

本研究課題名である「震災に伴う人工資本・自然資本ストックの損失と対策の評価」であるが、2つの意味を含んでいる。一つは、人工資本・自然資本のロストストック発生量の推計と発生抑制のための対策を評価、検討することである。もう一つは、ロストストックを出発点とする災害廃棄物の処理対策のあり方を、環境面・経済面から評価、検討することである。これには、自治体が公表している災害廃棄物処理対策のフィジビリティを評価し、対策の実行においてどのような課題が発生する可能性があるかを明らかにすることも含んでいる。

上述した問題意識、研究開発目的を達成するために、本研究課題では、以下に示す4課題を設定した。3章、4章では、各研究課題の実施方法と研究成果についてそれぞれ説明する。なお、各研究課題を担当した研究代表者、研究分担者、研究協力者の所属は、平成29年3月時点である。

- (1) 人工資本ロストストック発生量予測のための都市ストックモデルの構築(田畑智博(神戸大学、研究代表者)、大西暁生(東京都市大学、研究分担者)、佐尾博志(国立環境研究所、研究協力者))

都市の人口、建築物のストック量を元に、発災に伴う地震、津波、地すべりの各種被害予測結果を利用して人工資本のロストストック量を推計するためのモデルを構築する。発災時期には不確実性が生じること considering、モデルは、現状での発災を仮定するだけでなく、将来の人口変化、建築物ストック量の変化を考慮して、将来のある時点での発災を仮定した場合のロストストック量の将来推計も実施可能なものとする。また、地理情報システムを利用することで、ロストストック量の空間分布を可視化する。加えて、家屋移転や発災後の防潮施設の機能維持のような対策が、ロストストック量の抑制にどのような効果を及ぼすかを検討する。

これを実施するため、統計資料等を用いて、都市規模別での家庭における耐久消費財(住宅、家電等)の所有量を推計するとともに、耐久消費財別重量単価データベースを作成する。また、被害想定地域を中心として、土地形状や建物配置等に関する情報を地理情報システムや統計データ等より収集し、都市ストックモデルを構築する。

- (2) 自然資本ロストストック発生量予測とその対策(佐藤真行(神戸大学、研究分担者)、大西暁生)

ロストストック量の空間分布を可視化する。また、地域住民が失われる森林資源の価値をどのように考えているかを明らかにする。加えて、森林資源や人工資本の損失抑制に係る対策として防潮堤の改修に焦点を当て、地域住民の指示を得やすい改修案を検討する。

これを実施するため、東日本大震災被災地等を中心として、自治体への聞き取り調査や公表されている情報の収集を行い、土砂、森林等の自然資本のストックやその種類に関するデータを整理する。

(3) 災害廃棄物処理システムの環境的・経済的評価方法の開発(田畑智博、佐伯 孝(富山県立大学、研究分担者)、蔡 佩宜(神戸大学、研究協力者))

ライフサイクルアセスメント、ライフサイクルコストの考え方を災害廃棄物処理システムに適用するための方法論を開発する。また、環境的・経済的評価に係る各種原単位を整備する。自治体が計画している災害廃棄物処理対策をベースとして災害廃棄物処理のシミュレーションを行うことで、対策の実行可能性を検討するとともに、対策の実施により顕在化する可能性のある課題や検討すべき点等を考察する。

これを実施するため、過去の震災等による被災自治体への調査を実施し、災害廃棄物の発生量、処理方法等に関する情報を収集するとともに、災害廃棄物処理事例を整理する。また、被害想定地域を中心として、一般廃棄物処理施設の稼働状況、災害廃棄物処理計画に関する情報を収集し、災害発生時の協力体制等を分析する。

(4) 災害廃棄物の撤去・収集・広域処理等に係る住民意識の評価(川本清美(北海道教育大学、研究分担者)、大西暁生、蔡 佩宜)

災害廃棄物の撤去費にかかる自治体負担の発生を避けるために、地域住民が自助、あるいは隣人、町内会等との共助により撤去・収集に係る作業に関わることが可能かどうかを、社会関係資本の観点から検討する。また、災害廃棄物の広域処理を検討する際に、広域処理受け入れ地域の地域住民がどのような反応を示す可能性があるかについて住民意識の構造化を行う。

これを実施するため、過去の震災地を対象にアンケート調査等を行い、災害廃棄物対策に自助・共助が果たした役割を明らかにする。また、南海トラフ巨大地震の被害想定地域における(4) 災害廃棄物の撤去・収集・広域処理等に係る自助・共助の可能性を分析する。

3. 研究方法

(1) 人工資本ロストストック発生量予測のための都市ストックモデルの構築

1) 発災に伴う人工資本ロストストックの把握の必要性

大規模自然災害の発災前に、事前に検討しておくべきことは、発災に伴う被害を最小限に抑制し、被災地に居住する住民が一日でも早くもとの生活に戻れるように、社会のレジリエンス(復元力・回復力)を如何に高められるかということである。その際、人命・財産の保護やライフライン等の保護や復旧に関する対策を検討することが求められる。保護すべき財産としては、その都市に存在する建築物やインフラ、家庭でいえば住居や家財等が挙げられる。これらは、いわゆる人工資本ストックである。これらの人工資本ストックは我々が経済活動を行ったり、日常生活を送るうえで欠かせないものである。

震災のような大規模自然災害は、人命に多大なる被害を及ぼす。防災・減災対策として都市に存在する人工資本ストックの保護を検討する際、それらが持つ二面性に注目する必要がある。一つの側面は、発災により失われるストック(ロストストック)は、元通り回復させるためには多大なる時間や費用が必要である。大都市であれ、中小規模都市であれ、都市を構築し、我々が生活、労働、娯楽等の諸活動を行うためには、建築物やインフラが整備されていることが必須となる。例えば、日本の総住宅数は約 6 千万戸¹⁾、2016 年

度における産業用建築物着工数は 84,000 棟²⁾、道路実延長は 1,218,771.6km³⁾である。また、家庭では、家電や耐久消費財の所有が必須となる。例えば、2010 年度における日本の家庭 100 世帯あたりの耐久消費財保有数量は、エアコンが 263 台、テレビが 243 台、パソコンが 118 台であり、1 世帯に 1 台以上が当たり前となっている⁴⁾。発災後に多大なる時間や費用を費やすよりは、ロストストックの発生を最小限に食い止めるための対策を検討するほうが合理的である。これを避けるためには、人工資本・自然資本の各ストックがどれだけ都市に蓄積されているのかを把握するとともに、ロストストックを最小限に食い止めるための対策を検討すべきである。

もう一つの側面は、これらのロストストックが災害廃棄物に転換されるということである。人工資本ストックは、我々にとって欠かせないものであるが、同時に、潜在的な災害廃棄物の発生源と考えることが可能である。震災に伴い発生する災害廃棄物は膨大である。例えば、阪神・淡路大震災(1995 年)では約 20 百万 t、東日本大震災(2011 年)では、岩手県、宮城県、福島県の 3 県で、約 28 百万 t(津波堆積物含む)の災害廃棄物が発生している。被災地の復旧や復興のためには、災害廃棄物の迅速な撤去や処理が重要である。本節では、災害廃棄物を次の 3 つに大別する：1 つ目は建築材のような建物、インフラ等を由来とする廃棄物(以下、マクロな災害廃棄物)、2 つ目は生活系廃棄物(家電等の耐久消費財、避難ごみ、生ごみのように家庭に由来する廃棄物、以下、ミクロな災害廃棄物)、3 つ目は津波堆積物である。災害廃棄物は、避難ごみや生ごみのような廃棄物を除き、社会や家庭にストックされている人工資本が元となっている。

国や自治体等における災害廃棄物の発生量の推計は、過去の大震災等をもとに作成した推計式や原単位を用いて行うケースが主である。しかし、マクロ・ミクロの人工資本ストックの蓄積量は、都市規模や人口等の要因によって異なる。これを踏まえると、今後発生する大規模自然災害を対象として災害廃棄物の発生量を推計する場合、過去の大震災等をもとに作成した推計式や原単位が、計算対象となる地域に適合するとは限らない。その地域に蓄積されている人工資本の量を把握するとともに、発災に伴う損失分をもとに災害廃棄物量を推計するのが適切であるといえる。また、南海トラフ巨大地震の発生時期の予測は困難であること、社会状況は刻々と変化することを考慮して、都市における人工資本ストックが将来どのように変化するかということも想定する必要がある。本節では、都市におけるマクロ・ミクロの人工資本の蓄積量を推計するための都市ストックモデルを構築するとともに、南海トラフ巨大地震に伴うロストストック発生量の推計や対策の実施に伴うロストストックの抑制効果に関する評価を行う。

2) 建築物の蓄積量およびロストストックの推計手法の検討

本項では、将来における社会状況を考慮した地域内の建築物ストック蓄積量およびロストストック発生量の将来予測を可能とする都市ストックモデルを構築した。建築物とは、住宅、商業施設、医療施設、学校、その他である。

対象とする社会状況は表 3-1 の人口や出生率等とし、長谷川ら⁵⁾を参考にしてコーホート要因法を用いて、人口や世帯数を推計した。なお、都市ストックモデルの構築のため、具体的な地域を対象として推計を行い、モデルの改良や一般化を行った。対象地域は、南海トラフ巨大地震の被害想定地域である神奈川県、静岡県西部地域、三重県、高知県とした。各地域における、人口、世帯数の推計結果から 2010 年から 2050 年までの各県の総延床面積(住宅の需要量)の変化を推計するために、対象地域ごとの住宅の建て方別(戸建て、集合)かつ構造別(木造、非木造)の住宅の需要量を推計した(図 3-1)。その際、住宅の老朽化等による住宅の新規建築量(住宅の投入量)の変化を推計するために、小松ら⁶⁾、小見ら⁷⁾を参考にして、正規分布、対数正規分布、ワイブル分布の残存率関数を用いた。続いて、本推計により得られた結果に内閣府⁸⁾の参考

震度、津波高さのデータを重ねあわせることで、対象地域における被害推計およびロストストック発生量の推計を行った。建築物の重量原単位は、表 3-2 のように設定した。

表 3-1 データ一覧

	使用年度	参考元	抽出するデータ
人口	2005 年、2010 年	国勢調査	男女別・5 歳階級別の人口
死亡率	2005 年	市区町村別生命表	男女別・5 歳階級別の死亡率
合計特殊出生率	2005 年	厚生労働省	5 歳階級別の出生率
男女出生比	2010 年	総務省	男女出生数

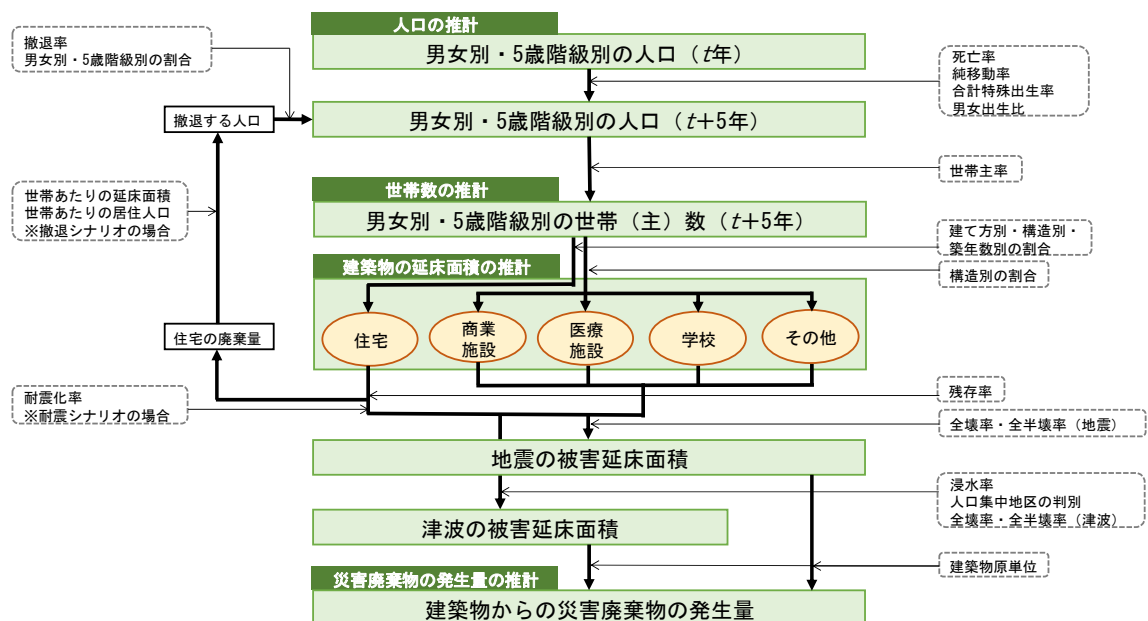


図 3-1 建築物ストックの残存量およびロストストック発生量の推計モデル

表 3-2 建築物の種類と原単位

	建築物の構造	建築物原単位 ⁹⁾
住宅	木造	木造住宅, 2×4工法住宅の平均値
	非木造	S造住宅, RC造住宅の平均値
商業施設	木造	木造事務所
	非木造	RC造ビル, S造ビル, SRC造, C造, その他の平均値
医療施設	木造	木造事務所
	非木造	RC造ビル, S造ビル, SRC造, C造, その他の平均値
学校	非木造	RC造学校
その他	非木造	RC造ビル, S造ビル, SRC造, C造, その他の平均値

都市ストックモデルを用いて、地震の対策として耐震化、津波の対策として浸水想定区域の住宅を非浸水想定区域に移転させることを想定した場合に伴う、ロストストック発生量の抑制効果を試算した。対象とする被害は地震、津波とし、内閣府⁸⁾が想定しているケースのうち、各県の参考震度、津波の高さが最

大となるケースを用いてシミュレーションを行った。なお、津波については、地震によって被災した住宅を除いたものを、津波の被害(=ロストストック発生量)として取り扱っている。さらに、地震や津波の対策の効果を検討するために、地震は新しい耐震基準を満たしていない 1981 年以前の住宅を国土強靱化推進本部¹⁰⁾の国土強靱化アクションプランに合わせ、各期間の住宅の耐震化率に達するように改修を行うこととした。一方で、津波は浸水想定区域に存在する住宅が建て替えと共に、非浸水想定域に住宅を移転・建替えさせることでロストストック発生量の抑制効果を試算した。加えて、三重県¹¹⁾の場合は、「防潮施設が機能する場合(防潮堤、防波堤等の防潮施設が地震によって被害を受けず、本来の役目を果たすと仮定)」と「防潮施設が機能しない場合(地震によって防潮堤が崩壊し本来の機能が発揮されないと仮定)」の2ケースについて津波ハザードマップを作成している。これを踏まえ、ここでは、防潮施設が機能する／機能しない場合の2ケースについて評価を行うことで、防潮施設の機能がロストストック発生量の抑制にどのような効果を持っているのかをシミュレーションした。津波の被害率は、中央防災会議¹²⁾の建物被害率(図3-2)を用いた。この被害率は、人口集中地区と人口集中地区以外で異なっており、それぞれ浸水深別と構造別に、全壊率及び全半壊率が決まる。人口集中地区の判別については、国土数値情報ダウンロードサービスより、人口集中地区データ¹³⁾を用い、人口集中地区が属する地域とそれ以外を区別した。

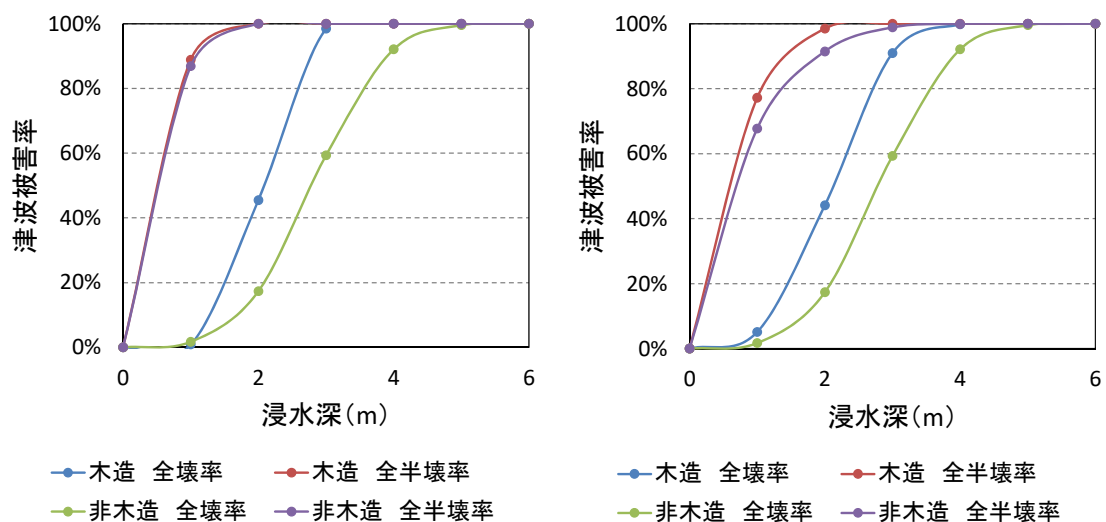


図3-2 建物被害率

3) 耐久消費財の蓄積量およびロストストックの推計手法の検討

続いて、ミクロなストックである耐久消費財に着目して、住宅内のストック蓄積量の推計手法を検討した。耐久消費財に着目した理由は、がれきに比べて発生量は少ないが、被害に伴う経済的損失は無視できないためである(日本全世帯の耐久消費財所有額は、わが国の実質 GDP(平成 25 年度)の 24%に相当する^{14, 15)})。また、ロストストックの詳細な種類と量が事前にわかることで、事前のリサイクル対策の検討が可能である。

図3-3に耐久消費財蓄積量の推計フローを示す。先ず全国消費実態調査¹⁵⁾を参考にして18品目の耐久消費財(表3-2)を選定するとともにウェブ調査を行い、2014年時点で販売されている各種耐久消費財の製品別のタイプ(インチ数、容量、排気量等)、質量などの情報を抽出・整理し、1台あたりの質量を記述統計により算出することで、質量原単位のデータベースを作成した。次に、全国消費実態調査等をもとに、重回帰

分析を用いて、1世帯あたりの耐久消費財保有数量の推計式を作成した。これに原単位データベースのデータを掛け合わせ、1世帯あたりの耐久消費財蓄積量を算出した。

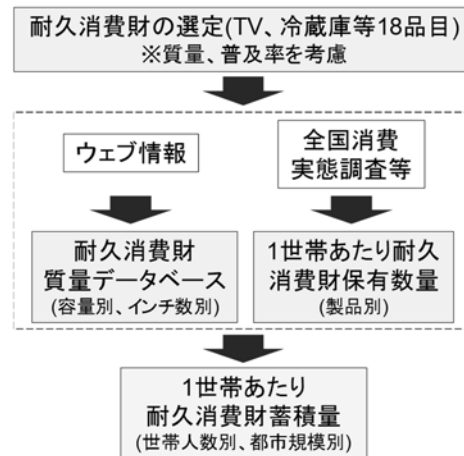


図 3-3 耐久消費財蓄積量の推計フロー

表 3-3 対象とする耐久消費財

分類	品目
設備器具(2品目)	給湯器、温水洗浄便座
家庭用耐久財 (10品目)	電子レンジ、自動炊飯器、冷蔵庫、電気掃除機、洗濯機、IHクッキングヒーター、食器洗い機、電動ミシン、ルームエアコン、空気洗浄器
交通(1品目)	自動車
教養娯楽用耐久財 (5品目)	薄型テレビ、カラーテレビ(ブラウン管)、ビデオテープレコーダー、パソコン、カメラ

(2) 自然資本ロストストック発生量予測とその対策

1) 発災に伴う自然資本ロストストックの把握の必要性

震災の被害については、まず経済的損害額が注目される。たとえば阪神淡路大震災ではおよそ 10 兆円、東日本大震災ではおよそ 16 兆円から 25 兆円という金額が推計された。こうした被害額を見積もることは、復旧・復興プロセスにおけるわかりやすい回復の目安になろう。しかしながら大規模震災の被害は経済的損害に限らないこともまた重要である。経済的被害額が明確であるだけ、こうした非経済的な損害に注目が集まりにくくなるが、これを理由にそうした部門の回復が遅れることは問題である。

こうしたときに注目すべきは「人的資本ストック」や「自然資本ストック」、あるいは「社会関係資本 (ソーシャル・キャピタル)」といった非経済的な諸ストックである。こうした非経済的な諸ストックは、経済ストックと連動することも注意しなければならない。例えば、道路や港湾といった社会的インフラや宅地・建築物の再開発には、原材料や土壌資源などの自然資本の投入が必要となる。いうなれば、このような段階でもロストストックが発生する。このような相互影響は、一刻も早い経済的回復を目指す経済政策の一方で、自然環境との調和も含めた持続可能な発展に向けた環境政策として、統合的に考慮されることが求められる。

以上を踏まえ、本節では、震災時および復興過程において生じる自然資本の減少について分析する。人工資本ストックについては、可及的速やかに震災前の生活水準を回復する必要性から、ストックの復旧はいち早く取り組まれるべきである一方、同時に発生している環境や資源といったいわゆる自然資本ストックの動向についても注目する必要がある。特に自然資本ストックは震災時の影響だけでなく、復興過程における人工資本の回復に伴って減少することが考えられる。たとえば復旧に必要な木材資源や土砂の採取、あるいは高台移転による住宅地への用途転換に伴う森林資源の減少が挙げられる。震災後の復興は、人工資本の回復のみだけでなく、自然資本の動向も踏まえて評価されねばならないのと同時に、南海トラフ地震など想定される大規模災害に対しても、自然資本を含めたロスの少ない資本管理にむけて対策を講じておくために、そのための自然資本に関する評価を行うことが必要である。

また、自然資本の評価にむけて、想定される被災地域の住民の環境やリスクに対する選好を評価し、環境保全と調和的な防災施策を考察することを目的とする。特に津波等による浸水リスクを低下させるには防潮堤の建設等が考えられる。4（1）節の三重県におけるケーススタディにおいて、防潮堤の機能が維持されることによる人工資本ストックの損失抑制効果は大きいことが示されている。しかし、改修等による防潮堤の機能強化は、生態系や景観といった自然資本関係の損失に影響すること等が懸念される。そのため、住民のリスク選好と自然保全意識を踏まえて、地域のニーズを調査することにより、防潮堤の機能強化の方法に関する政策立案への情報を提供することができると考える。

2) 森林資源のロストストックおよび価値評価

南海トラフ巨大地震を想定して、三重県における地震動による斜面崩壊率評価モデルを図 3-4 のように構築する。ここでは、国土数値情報を用いて 3 次メッシュ別での標高・傾斜度、地盤、土地分類を考慮し、森林資源の分布および地震・津波により森林資源のロストストックが発生する面積を推計した。ここでは、表 3-4 に示す項目および小項目を元に、12 点、15 点を閾値に 3 区分の素因ランクを設定した。基準要素点に基づき、12 以下はランクⅠ、12 以上 14 以下はランクⅡ、15 以上はランクⅢに区分し、表 3-5 より誘引ランクを求めた。地表面における計測震度は、次式より算出した。

$$I = a + b \cdot \log V \quad (3-1)$$

但し、I：計測震度、V：地表面最大速度、a、b は係数：a=2.30、b=2.01。

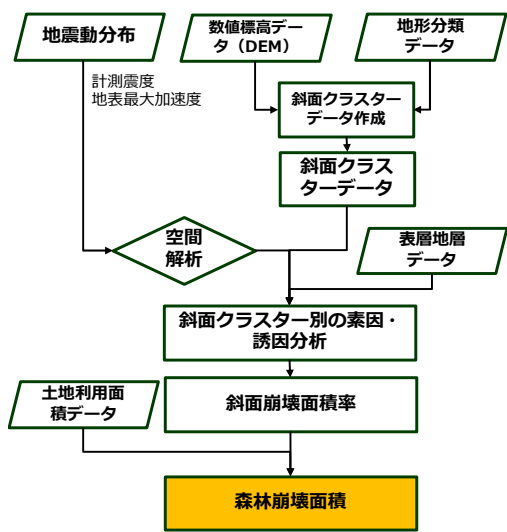


図 3-4 地震動による斜面崩壊率評価モデル
(注釈) 損害保険料率算出機構¹⁾を参照

表 3-4 ランクの付け方

項目	小項目	点数
①斜面高 H (m)	H<10	3
	30>H≥10	7
	50>H≥30	8
	H≥50	10
②斜面勾配 α	α<1:1.0	1
	1:0.6>α≥1:1.0	4
	α≥1:0.6	7
③斜面の地盤	礫混じり土砂	5
	土砂	4
	粘質土	1

(注釈) 損害保険料率算出機構¹⁾を参照

表 3-5 素因ランクと誘因ランクによる崩壊面積率

			素因ランク		
			I	II	III
誘因 ランク	0	PGA<200	0.00%	0.00%	0.00%
	1	400>PGA≥200	0.29%	0.63%	0.57%
	2	700>PGA≥400	0.43%	0.62%	0.73%
	3	1000>PGA≥700	0.55%	0.71%	1.54%
	4	PGA≥1000	1.18%	1.80%	2.77%

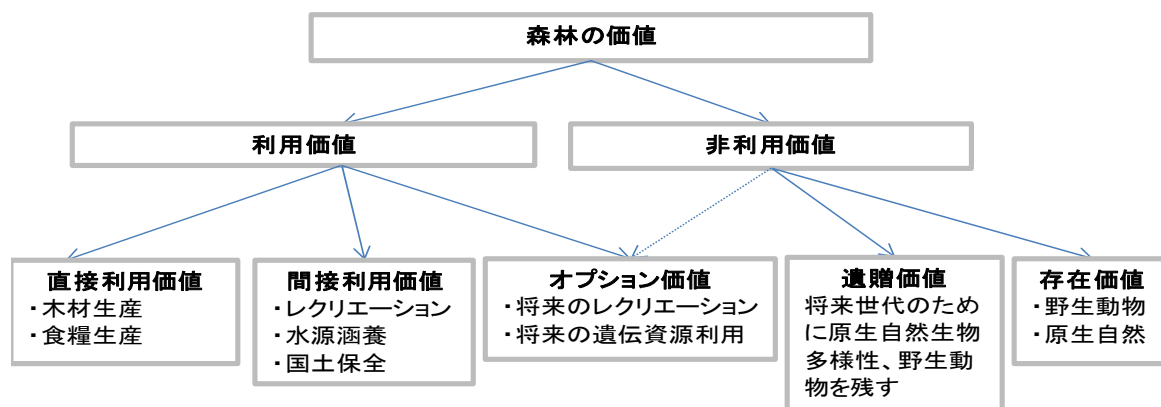
※PGA：地表面最大速度

(注釈) 損害保険料率算出機構¹⁾を参照

津波強度と被害については、首藤²⁾による津波高さと防潮林への被害との関係性に関する研究成果を元に、4m より低い場合を被害率 0、4m 以上 8m 未満の場合を被害率 0.5、8m 以上の場合を被害率 1.0 と設定した。

続いて、自然資本の社会的価値（シャドウ・プライスと呼ばれる）を推定することによって、評価対象地域における自然資本の経済的評価を行う。自然資本が震災影響として評価されにくいのは、多くは市場価値を持たないため経済評価自体が難しいことに起因するためである。そこでは、環境経済学の分野で開発が進んでいる環境評価手法を援用することで対応する。本節では自然資本としての森林資源に注目して、三重県を中心に関西地域南部の地域におけるアンケート調査を実施し、仮想評価法（Contingent Valuation Method、略して CVM と呼ばれる）によって森林資源の経済価値の推定を行う。これにより森林 1 単位の経済価値を求められるため、発災による森林資源の減少、ならびに復興過程において発生する森林資源の減少の経済価値評価を行うことができ、人工資本の動向とあわせて、震災被害ならびに復興プロセスを包括的に評価することが可能となる。

自然資本の経済価値評価論では、環境の価値を大きく、利用価値と非利用価値に分けて考察される（図 3-5 参照）。利用価値とは環境を実際に利用したことによる価値である。そしてその利用価値は、直接利用価値、間接利用価値、オプション価値に区別される。非利用価値は遺贈価値と存在価値に分けることができる。非利用価値としての自然資本を議論する場合、図 3-5 のような包括的な価値認識に基づいて評価していく必要がある。自然資本の一部は、商業的利潤を生み出すことから経済的価値として既に評価されている部分もある。しかしながら、非利用価値は環境評価手法を用いて適切に評価しなければ、自然資本の評価価値としては過小評価となる。



出典：栗山³⁾を一部改編

図 3-5 森林の価値分類

こうした非利用価値を包括的に測る方法は環境経済学の分野で複数開発されており、(1)環境サービスを代替材で置き換えた場合に必要となる費用から評価する代替法、(2)支払われた旅行費用に基づきレクリエーションの価値を評価するトラベルコスト法、(3)環境サービスが住宅価格や家賃に及ぼす影響をもとにその価値を評価するヘドニック法、(4)環境変化に対する人々の環境改善に対して最大限支払っても良い金額（支払意思額）や環境悪化を受け入れるために必要な最小の金額（受入補償額）を直接聞きだすことで、環境サービスの価値を評価する CVM、(5)環境改善のための複数の案を人々に示して、それぞれの代替案に対する好ましさを尋ねることで環境サービスの価値を評価するコンジョイント分析などがある。

本節では、災害発生が予想される地域におけるマクロ的な自然資本の減少を評価するために、原単位評価を行いやすい CVM を採用する。CVM は自然資本のもつ非利用価値を評価することができるという利点を持つが、一方で短所も存在する。それはバイアスが発生してしまう恐れがあるということである。バイアスとはシナリオの設計や調査方法などに起因する評価額の歪みのことで、バイアスの回避は CVM の大きな課題である。それを避けるために、社会調査に先立ってパイロット調査を行い、可能な限りバイアスを排除できる調査票づくりを行うとともに、CVM 研究における複数の質問方法を検討し、適切に組み合わせて価値評価を行っていく。

第一に、二肢選択型 CVM を利用し、評価対象地域の森林資源を評価する。その際に想定する理論モデルとして、調査回答者の間接効用関数を

$$U(p, Q, C, M) \quad (3-2)$$

とする。ただし p : 価格ベクトル（一定）、 Q : 森林資源の量、 C : 回答者の社会経済属性、 M : 所得である。また p は一定であるため以下は省略することにする。

ここで、評価対象者に、森林資源の保全のための支払意思額 T について尋ねる。回答者が保全のために T 円徴収されてでも、保全策に賛成するのは以下の場合である。

$$U(Q_1, C, M - T) \geq U(Q_0, C, M) \quad (3-3)$$

ただし、 T : 回答者への提示額である。ここで、効用関数を観察可能な部分 V と観察不可能な部分 ε に分ける。このとき、回答者が YES と答える確率 $\Pr[\text{YES}]$ は、

$$\begin{aligned}
\Pr(\text{YES}) &= \Pr[V(Q_1, C, M - T) + \varepsilon_1 \geq V(Q_0, C, M) + \varepsilon_0] \\
&= \Pr[\Delta V + \eta \geq 0] \\
&= 1 - G\eta(-\Delta V)
\end{aligned} \tag{3-4}$$

ただし、 ε_1 は環境の質が変化した後の誤差項、 ε_0 は環境の質が変化する前の誤差項、 ΔV は環境の質の変化に伴う間接効用関数における観察可能な部分の差分、すなわち $V(Q_1, C, M - T) - V(Q_0, C, M)$ 、 η は環境の質の変化に伴う間接効用関数における観察不可能な部分の差分 $\varepsilon_1 - \varepsilon_0$ 、 $G\eta$ は η の任意の累積密度関数である。そして、 $G\eta$ が第一種極値分布の時はロジットモデルとなり、

$$\Pr(\text{YES}) = \frac{1}{1 + e^{-\Delta V}} \tag{3-5}$$

が成立する。

このモデルにもとづき、森林資源の保全についての消費者の選好パラメータを推定ことで、自然資本の非経済的価値を含めた原単位評価を行う。

3) コンジョイント分析によるリスク選好の分析

原単位評価を行う一方で、自然資本のもつ複数の属性のうち、どの要因に選好がよせられているかについても分析を行う。そのために、環境経済評価手法であるコンジョイント分析を用いて、リスク選好、防潮堤の生態系配慮、ならびに対策費用のトレードオフを定量的に評価する。これにより、地域住民から求められている防潮設備の特徴を分析し、行政の対策立案の資料として提供することができる。

コンジョイント分析の質問形式はいくつか開発されている。①回答者にプロファイルを1つ提示して、それがどれくらい好ましいかを回答してもらう完全プロファイル評定型、②回答者にプロファイルを2つ提示して、どちらがどれくらい好ましいかを回答してもらうペアワイズ評定型、③回答者に対し複数のプロファイルを提示し、その中から最も好ましいプロファイルを選択してもらう選択型実験、④回答者に対し複数のプロファイルを提示し、それらを望ましい順に順位を付けてもらう仮想ランキングなどがある。このうち選択型実験は市場での選択行動に類似しているため、回答者が回答しやすいという利点があり、経済理論との整合性も高いので広く用いられている(栗山・庄子⁴⁾)。今回の調査においても、利用するデータが街頭インタビュー調査によって得られるものであり、経済理論に基づいた貨幣評価額として表現するので選択型実験を採用する。選択型実験は、回答者に対し複数の選択肢を提示し、その中から最も望ましいものを選択することを通じて、選好パラメータの推定を行うものである。そこではランダム効用モデルが想定される。

選択肢集合 $C = \{1, 2, \dots, J\}$ の中から回答者 n がプロファイル i を選択する確率 P_{ni} は、プロファイル i を選択したときの効用 U_{ni} がその他のプロファイル $j (j \neq i)$ を選択したときの効用 U_{nj} よりも高くなる確率であるとして次のように定める。

$$\begin{aligned}
P_{ni} &= \Pr[U_{ni} > U_{nj}, \forall j \in C, j \neq i] \\
&= \Pr[V_{ni} - V_{nj} > \varepsilon_{nj} - \varepsilon_{ni}, \forall j \in C, j \neq i]
\end{aligned} \tag{3-6}$$

ここで V_{ni} は観察可能な確定項、 ε_{ni} は観察不可能な誤差項である。

誤差項 ε_{ni} と ε_{nj} が第一種極値分布にしたがうと仮定すると、誤差項の差のロジスティック分布にしたがうため、回答者 n がプロファイル i を選択する確率 P_{ni} は以下の条件付ロジットモデルによって表すことができる⁵⁾。

$$P_{ni} = \frac{e^{uV_{ni}}}{\sum_{j \in C} e^{uV_{nj}}} \quad (3-7)$$

u はスケールパラメーターである。このとき以下で示す対数尤度関数の値を最大化することによってパラメータベクトル β を求められる。

$$\ln L = \sum_{n=1}^N \sum_{i \in C} \delta_n^i \ln P_{ni} \quad (3-8)$$

ただし、 δ_n^i は回答者 n がプロファイル i を選択したときに 1、それ以外の場合は 0 となるダミー変数、 P_{ni} は回答者 n がプロファイル i を選択する確率である⁴⁾。

本調査では、選択実験の手法により自然資本保全に関連する選好パラメータとして、災害リスクと生態系保全について分析する。

4) 社会調査の実施

自然資本の価値評価にあたって必要なデータは、社会調査を実施することによって収集する。ここでは評価対象地域を三重県および南海トラフ地震の被害が生じると考えられる地域に対して、インターネットによる社会調査を行った。最初に、2015 年 2 月～3 月にかけて 20 歳～69 歳男女を対象とした調査を行った。ここでは二肢選択型 CVM や選択型実験のコンジョイント分析に必要なデータについて、災害に関連する一連の質問とともに調査された。次に、2015 年 11 月～12 月にかけて、20 歳～69 歳男女を対象として、森林資源の原単位評価を地域別に行うための支払カード型の CVM 調査と、住民のリスク態度の調査を行った。

(3) 災害廃棄物処理システムの環境的・経済的評価方法の開発

1) 災害廃棄物処理のシステムの評価の必要性

本節では、災害廃棄物処理システムを次のように定義する：災害廃棄物の撤去・運搬(フローの上流工程)から最終処分・リサイクル(フローの下流工程)までの災害廃棄物のフローを統合化し、一つのシステムと見なしたもの。災害廃棄物のフローをライフサイクルとして捉えることで、システムを稼働させることによる環境的・経済的評価の実施が可能となる。すなわち、災害廃棄物処理に対してライフサイクルアセスメント(LCA)、ライフサイクルコスト(LCC)の各評価方法を適用することが可能となる。また、自治体等が作成した災害廃棄物処理案を環境面・経済面から評価するとともに、環境面・経済面からより望ましい代替案を提示することも可能となる。4(1)節では都市ストックモデルを構築するとともに、発災に伴う人工資本のロストストック量の推計を行ったが、ロストストック量を出発点として、災害廃棄物処理システムの構築方法を検討することができる。但し、ロストストックが全て災害廃棄物に転換されるとは限らないことに留意が必要である。なぜならば、津波被害が発生する場合、外洋に流出する人工資本が存在することが、東日本大震災より自明である。また、基礎のように、収集されずに放置されるものもある。そのため、発生したロストストックのうち、実際に自治体の収集・処理対象となる災害廃棄物量を推計することが必要である。本節では、先ず津波被害を考慮した災害廃棄物収集量の推計方法について論じるとともに、災害廃棄物の収集量や組成と被害程度との関係性を考察する。続いて、これらを踏まえて災害廃棄物処理システム

の評価方法論を構築するとともに、熊本地震、南海トラフ巨大地震(三重県南伊勢町、三重県全域)の3ケースに対して災害廃棄物処理のケーススタディを行う。

災害廃棄物処理に関する研究は、工学、社会科学の様々な研究分野で実施されている。このうち、災害廃棄物処理システムに着目した既往研究について論じる。現在の災害廃棄物の推計に関する研究は自区内処理と広域処理を推計している2つに分類することができる。自区内処理とは自治体のみで処理することで、広域処理は各自治体間や都道府県間で協力して廃棄物を処理することである。

先ず自区内の研究では、荒井ら¹⁾は震災廃棄物の輸送計画に関するモデル分析を行っている。この研究では、廃棄物の発生から仮置場までの輸送最適化を可視化している。伊藤²⁾は南海地震で発生する災害廃棄物を海岸に埋立処分することによる時間・費用削減効果の検討を行っており、発生場所からあらかじめ設定した仮置場、海岸までの輸送費用と埋め立て費用を算出している。熊谷組³⁾は首都直下型地震における震災廃棄物輸送に関する研究を行っている。広域輸送に関する研究では、梁田⁴⁾らが南海トラフ大地震を想定した災害廃棄物処理計画の研究をしており、都道府県間での廃棄物処理の受け入れの最適化の研究を行っている。伊川ら⁵⁾がレジリエンス特性を踏まえた災害廃棄物(可燃系廃棄物)処理の対策効果分析を行っている。丹治ら⁶⁾が一般廃棄物処理の広域化計画に伴う災害廃棄物処理の費用便益分析を行っている。

これらの研究では、空間的に処理コストや環境負荷、交通量負荷等を算定している。しかし、これらの研究は、災害廃棄物がどこで発生し、どこで保管・分別・処理・埋め立てるか等を、輸送を考慮した災害廃棄物処理システムの観点から評価できていないこと、プロセス別での環境負荷やコストを十分に算定できていないことが問題として挙げられる。すなわち、LCA、LCCの考え方をうまく災害廃棄物処理システムの評価に応用できていないといえる。このことから、既往研究の多くは、自治体の災害廃棄物処理対策に利用することが難しいと考えられる。既往研究に対して、本研究は、LCA、LCCの方法を利用して、災害廃棄物処理システムの実行に伴う空間的な輸送や処理ネットワークを考慮した環境負荷とコストの定量的な算定方法を開発する。

2) 津波被害を考慮した災害廃棄物収集量の推計

東日本大震災では、津波により大規模な被害がもたらされ、莫大な量の災害廃棄物が発生した。津波が発生すると災害廃棄物が発生場所から移動し、一部が引き波によって海洋へと流出する。そのため、災害廃棄物の発生量の推計値とのずれが生じ、災害廃棄物の迅速な撤去、適切な仮置場の確保、効率的な処理が困難となり、早期復旧・復興の妨げとなる。そこで、津波によって災害廃棄物の発生量がどの程度変化するかを、津波被害地の地形的な要因から分析を行った。

東日本大震災で津波被害があった仙台市、いわき市等を対象として、実際の津波被害を考慮した分析を行った。ここでは、津波被害を受けた自治体の津波被害地の地形の違いに着目し、津波が山地で止まる場合をパターン①、平地で津波が止まる場合をパターン②とした。それぞれの地形の特徴を図3-6に示す。パターン①では、津波が山地に当たって止まり、高所から低所に流れることで強い引き波が生じると考えられる。パターン②では、津波が内陸に向かって低く平らな地形を広がり、パターン①に比べて引き波は弱いと考えられる。これらの地形の違いについて、廃棄物が海へ流出する要因となる引き波の影響を勘案するために、本研究では津波被害地における海岸での津波の高さ、海岸線からの津波の到達距離、津波到達地点での傾斜角度を対象として地理的特性を分析した。

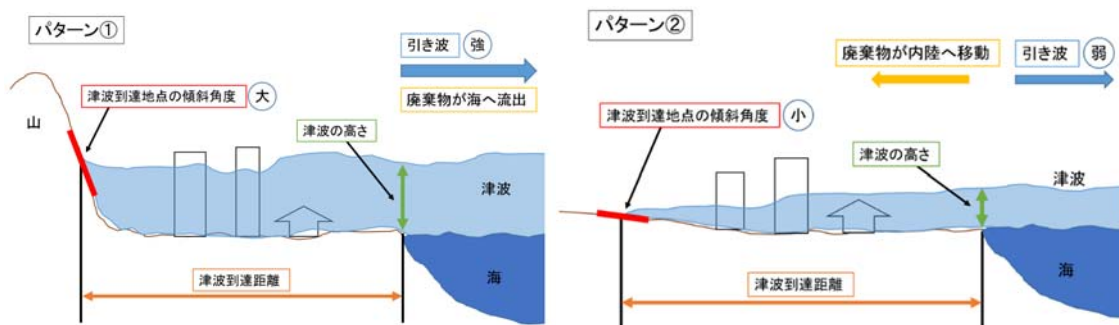


図 3-6 津波被害地の地形パターン

3) 災害廃棄物処理データベースの構築

a 発災からの時間変化を考慮した災害廃棄物の発生量・組成に関する実態調査

自治体が収集・処理対象とする災害廃棄物について、処理に係る環境・経済情報のデータベースを構築するための基礎情報として、東日本大震災を中心に、地震や土砂災害を経験した自治体や気象庁、様々な研究所が公表している報告書から市町村毎の被害規模、建物被害、人的被害、被害額、災害廃棄物発生量について整理した。東日本大震災で被災した自治体（青森、岩手、宮城、福島、栃木、茨城、千葉の各県内の市町村）に対しては、表 3-6 の項目について情報提供を依頼した。更に、被災自治体に対しアンケート調査を行うことで災害時に発生する災害廃棄物の発生総量だけでなく、災害廃棄物の組成や仮置場等へ持ち込まれる件数や量の時間経過の把握を行った。

表 3-6 情報提供項目

1	災害廃棄物の発生、処理に関すること	・発生量、各廃棄物の処分先と処分方法 ・処分先への搬入重量の日々データ
2	災害廃棄物の 1 次仮置き場に関すること	・設置状況（住所、置場としての面積） ・人員や重機の情報 ・使用した重機の燃料使用量 ・仮置場からのトラック等の搬出記録
3	災害廃棄物の 2 次仮置き場に関すること	・設置状況（住所、置場としての面積） ・人員や使用重機、破砕機等の情報 ・使用した重機の燃料使用量
4	焼却施設に関すること	・家庭ごみと災害廃棄物の処理時の比率 ・災害廃棄物を焼却したことによる焼却炉への負荷の有無
5	災害廃棄物の処理経費に関すること	・災害廃棄物の総処理経費、内訳
6	復興資材に関すること	・中間処理で得られた復興資材の数量 ・復興資材の置場（住所、置場面積）
7	復興事業に関すること	・事業名称、実施場所 ・総事業費、開始時期、終了時期
8	写真データについて	・災害廃棄物の写真 ・災害廃棄物の仮置場の写真
9	東日本大震災の記録誌等	

b 一般廃棄物処理施設の耐震化状況、処理余力に関する実態調査

災害廃棄物の自区内処理及び広域処理を事前に検討する際の基礎情報として、一般廃棄物処理

施設における災害廃棄物の処理可能量、耐震化状況に関するアンケート調査を行った。アンケート調査は、一般廃棄物処理施設(焼却施設、粗大ごみ処理施設、資源選別施設等)および最終処分場を所有・管理している一部事務組合を含む 1,361 の地方公共団体を対象に実施した。調査項目は施設の稼働日数・維持管理実態、耐震化と過去震災の被害状況、余熱利用状況等であり、回答は 534 件である。稼働日数については、各施設で施設点検等に係る日数を除いた年間最大可能な稼働日数についても尋ね、この結果をもとに通常の年間処理日数に対する最大稼働可能な日数の割合(処理余力)を計算した。一般廃棄物処理施設の焼却余力は、以下の式より算出する。

$$R_i = \frac{(S_i - Q_i) \times 100\%}{Q_i} \quad (3-9)$$

$$S_i = d_i c_i \quad (3-10)$$

但し、 R_i は施設*i*の焼却余力、 S_i は施設*i*の年間最大処理可能量[t/年]、 Q_i は施設*i*の年間ごみ焼却量 t/年、 d_i は施設*i*の年間最大可能な稼働日数、 c_i は施設*i*の処理能力[t/日]。

廃棄物処理施設の余力を算出するためには、年間で最大可能な稼働日数の設定が必要となる。最大可能な稼働日数はアンケート調査の質問項目の一つであるが、回答がない施設は、回答結果の平均日数を代用することとした。また、処理施設に聞き取り調査を行った結果をもとに、一炉あたりの補修点検期間を約 6～8 週を想定した 316 日、全年フル稼働とした 365 日といった 2 ケースを設定し、各ケースにおける処理可能量を試算した。表 3-7 に実施したアンケート調査の概要を示す。

表 3-7 アンケート調査の概要

実施期間	2014 年 10 月 8 日～同年 12 月 5 日
調査対象	一部事務組合を含む 1,361 の地方公共団体
実施方法	郵送による配布／郵送・E メールによる回収
調査項目	施設の稼働・維持管理実態、耐震化と過去震災の被害状況、余熱利用状況など
回収票 (率)	534 (39.2%)

c 産業廃棄物処理施設の処理余力に関する実態調査

全国に 2 万 5 千以上ある産業廃棄物の中間処理施設、最終処分場の災害廃棄物処理への利用可能性を検討するためには、各中間処理施設の現状での処理余力や処理装置の設置状況、処理施設の耐震化状況等の情報が必要となることから、全国の産業廃棄物の中間処理施設、最終処分場約 6,000 社を対象にアンケート調査を行った。アンケート内容として、処理施設の処理方法、許可品目、立地場所、許可処理量、処理実績、追加で処理可能な量、処理施設の耐震化状況を挙げた。

4) 災害廃棄物処理システムの環境的・経済的評価方法の開発

a 評価方法

熊本地震における災害廃棄物処理を例として、災害廃棄物の処理フローを図 3-7 に示す。一般に、被災地で発生した災害廃棄物は、一次仮置場に搬入され、保管される。その後、二次仮置場に搬入され、木くず、コンクリートがら(コンがら)、瓦、金属類、特定廃家電のように種類別に分別される。粗大な廃棄物は、破碎処理される。有価物はリサイクルされ、残渣は焼却処理や埋立処分される。災害廃棄物の処理は、仮置場、処理施設・埋立地の処理容量や設置場所に応じて、地域内外で処理される。本節では、図に示す一連の処理フローを災害廃棄物処理システムとして捉え、これを評価する。

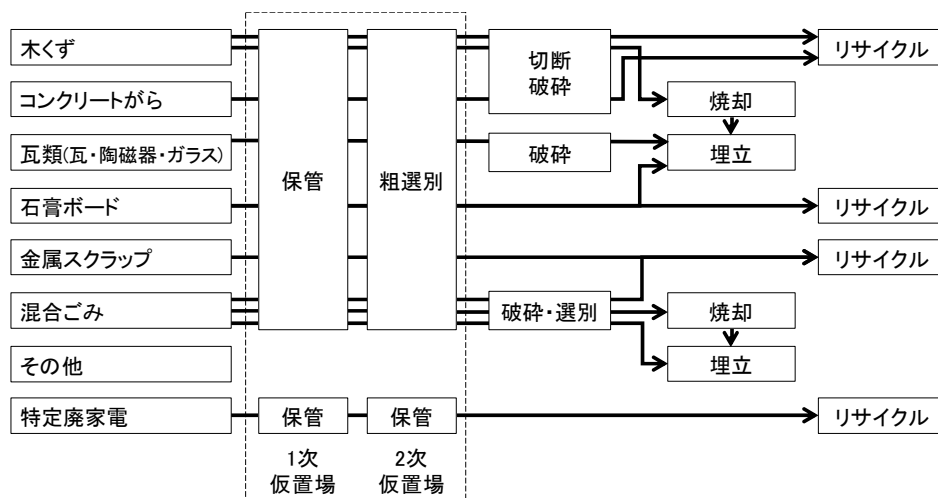


図 3-7 災害廃棄物処理のフロー（熊本県⁷⁾をベースに著者が作成した）

b インベントリデータの作成

災害廃棄物処理システムのライフサイクルでの環境負荷、コストは、次式により算出する。

$$E = \sum_{p=1} (W_p \times e_p) \quad (3-11)$$

$$C = \sum_{p=1} (W_p \text{ or } T_p \times c_p) \quad (3-12)$$

但し、 E : ライフサイクル環境負荷[t]、 W : プロセス p 別の災害廃棄物輸送量/保管量/処理量[t]、 e : プロセス p 別の環境負荷原単位[t-環境負荷/t、t-環境負荷/tkm]、 p : プロセス、 C : ライフサイクルコスト[円]、 T : 1 月あたり災害廃棄物の運搬に必要なトラック台数[台・月]、 c : プロセス p 別のコスト原単位[円/t、円/tkm、円/台・月]。

プロセス別の環境負荷原単位、コスト原単位の作成には、各プロセスでのインベントリデータの作成が必要となる。本研究では、災害廃棄物の処理プロセスを可能な限り網羅的に把握するため、次に挙げるプロセスをインベントリデータの作成対象とした：運搬、一次・二次仮置場での保管・分別、ごみ処理施設（焼却処理、埋立）、産業廃棄物（産廃）処理施設（焼却距離、破碎処理）、特定廃家電のリサイクル、仮設焼却施設とする。以下に示す方法により、プロセス別での災害廃棄物 1t あたりの環境負荷 (CO_2 、 SO_x 、 NO_x 、PM) とコストを算出した。なお、 CO_2 は地球温暖化の原因物質として、 SO_x 、 NO_x 、PM は地域の局所的な大気汚染を引き起こす原因物質として、それぞれ対象とした。但し、運搬に関しては他プロセスと単位が異なる。

➤ 運搬

環境負荷は、MiLCA⁹⁾のトラック輸送の原単位(トンキロ)を採用した。なお、1次仮置場から2次仮置場への輸送は4tトラックを、2次仮置場から他施設への輸送は10tトラックを用いることを想定した。コストは、レンタル業者からのリースを想定し、Web上の情報より検索した1台・1月当たりの使用料を採用した。

➤ 一次・二次仮置場での保管・分別

東日本大震災の被災自治体への調査を通じて、災害廃棄物1tの仮置きに伴う軽油使用量およびコストを算出するための以下に示す回帰式を作成した。なお、仮置場に関するデータは複数あるものの、データに不備があり十分な計算に耐えない事例を除外した結果、利用可能な事例は7ヶ所となった。但し、これらの事例でも、仮置場全体での軽油使用量やコストのデータしか得ることができなかったため、例えば、重機種類別の軽油使用量や人件費等を知ることにはできない。大まかなデータではあるが、これ以上に詳細なデータを得ることは不可能であるため、仮置場全体でのデータを用いることとした。災害廃棄物1t当たりの軽油消費量とコスト軽油消費量に軽油の製造・燃焼に係る環境負荷原単位を乗じることで、環境負荷を算出した。

$$\text{軽油使用量[L/t]} = 0.0270 \text{ 仮置場面積[ha]} \quad (3-13)$$

$$\text{コスト[百万円/t]} = 0.0007 \text{ 仮置場面積[ha]} - 0.0051 \text{ 津波堆積物ダミー} \quad (3-14)$$

表3-8に、7ヶ所の軽油使用量、コストのデータを示す。これらの事例では、津波堆積物の有り無しにより、数値が大きく異なっている。これを踏まえ、廃棄物1tあたりの軽油使用量および廃棄物1tあたりのコストを被説明変数とした回帰分析を行った。なお、各変数の相関行列等を考慮した結果、廃棄物1tあたりの軽油使用量の場合の説明変数は、仮置場面積と津波堆積物ダミー(津波堆積物有り:1、無し:0)の2変数とした。廃棄物1tあたりのコストの場合の説明変数は、仮置場面積の1変数とした。

表3-8 仮置場の軽油使用量、コストのデータ(各事例の数値は、場所特定ができないように丸めた)

	単位	事例1	事例2	事例3	事例4	事例5	事例6	事例7
仮置場(1次・2次含む)	ha	85	10	1	1.5	0.05	-	80
津波堆積物あり		○	○	×	×	×	×	○
災害廃棄物搬入量	t	855,000	540,000	900	33,000	49,000	5,400	2,023,000
軽油使用量	L	-	470,000	500	19,000	26,000	5,000	4,100,000
コスト	百万円	45,000	1000	3,000	0.5000	-	-	-
廃棄物1tあたり軽油使用量	L/t	-	8.87E-01	5.41E-01	5.87E-01	5.30E-01	8.80E-01	2.01E+00
廃棄物1tあたり処理コスト	百万円/t	5.29E-02	1.75E-03	3.30E-03	7.94E-06	-	-	-

但し、今回の調査で得られたデータは仮置場全体での軽油使用量やコストのみであり、場内での油圧ショベルや破碎機等の軽油使用量、人件費等を知ることにはできない。また、事例が7自治体のみであるため、事例を増やすことで推計精度の精緻化が必要である。

➤ ごみ処理施設(焼却処理、埋立)

田畑ら⁹⁾、Tabata et al¹⁰⁾が作成した、焼却処理方式別、埋立処分のインベントリデータを利用した。ごみ処理施設で災害廃棄物を処理する場合は通常ごみと合わせて処理する。なお、処理される災害廃棄物は通常ごみと比べて少なく、災害廃棄物の処理が上述したインベントリデータに与える影響は無いと仮定した。

➤ 産廃処理施設(焼却処理、破碎処理)

全国の産廃処理事業者に調査を行い、焼却距離、破碎処理(木くず、がれき)のユーティリティ使用量に関するデータを頂いた。これに MiLCA⁸⁾のユーティリティ別の環境負荷原単位、ユーティリティ別の使用料金を乗じて、環境負荷、コストを算出した。

➤ 特定廃家電

Tabata et al¹¹⁾が特定廃家電リサイクル工場で調査を行って作成した、環境負荷、コストを用いた。

➤ 仮設焼却施設

東日本大震災の被災自治体への調査を通じて、ユーティリティ使用量に関するデータを頂いた。これに田畑ら⁹⁾のユーティリティ別の環境負荷原単位を乗じることで、環境負荷を算出した。また、川畑ら¹²⁾が収集した仮設焼却炉の処理単価、リース代、運転管理委託費をもとに、コストを算出した。

➤ リサイクル

災害廃棄物をリサイクルする場合は、リサイクルされる分だけ原材料の使用量が削減できるものと考え、削減分をリサイクル効果としてマイナスの環境負荷として計上する。木くずは燃料としてリサイクルされるものとする。金属類、コンクリートがら等の不燃系の災害廃棄物は、建築資材等にリサイクルされるものとする。特定廃家電は、家電等の原材料にリサイクルされるものとする。リサイクル効果について、木くずは Tabata et al¹³⁾、不燃系の災害廃棄物は小林ら¹⁴⁾、特定廃家電は Tabata et al¹¹⁾が算出した結果を用いる。

以上の作業を通じて作成したプロセス別のインベントリデータの結果(一部)を表 3-9 に示す。仮設焼却施設では、ストーカ炉が 169~393[t-CO₂]、ロータリーキルンが 631~840[t-CO₂]となった。なお、田畑ら⁹⁾によるごみ焼却施設の結果は、ストーカ炉(ごみ発電なし、全連続)が 54.8[t-CO₂]、ロータリーキルン(ごみ発電あり、全連続)が 24.2[t-CO₂]であり、仮設焼却施設の負荷の大きさが際立っている。仮設焼却施設の事例は少ないため、事例を増やすことで結果の再確認が必要である。とはいえ、津波を浴びた可燃物は通常のごみに比べて発熱量が低くて灰分が多く、これが結果として CO₂ 排出量の増加に繋がった可能性がある。

表 3-9 プロセス別のインベントリデータ

		CO ₂	SO _x	NO _x	PM	コスト
	単位	kg/	kg/	kg/	kg/	円/
撤去	/t	-	-	-	-	11,400
輸送(4tトラック)	/tkm	1.50E-01	7.47E-06	1.29E-05	7.91E-05	-
	/truck/h	-	-	-	-	4,775
輸送(10tトラック)	/tkm	1.27E-01	6.32E-06	1.09E-05	6.68E-05	-
	/truck/h	-	-	-	-	6,950
一次・二次仮置場	/t	4.96E+00	4.60E-04	2.04E-03	1.23E-20	31,960
焼却(ごみ)	/t	2.93E+02	5.40E-01	6.30E-01	1.00E-02	27,540
焼却(産業廃棄物)	/t	4.88E+02	5.75E-02	2.39E-01	4.71E-15	16,340
仮設焼却炉	/t	2.93E+02	5.40E-01	6.30E-01	1.00E-02	41,801
埋立	/t	138 E+00	8.77 E+00	7.38 E+00	2.48E-03	6,948
リサイクル						
木くず(チップ燃料)	/t	-1.00E+03	-	-	-	-
コンクリートがら(路盤材用骨材)	/t	-5.00E+00	-	-	-	-
石膏ボード(石膏ボード原料)	/t	0.00E+00	-	-	-	-
特定廃家電(処理)	/t	6.55E+00	3.96E-04	1.06E-03	1.61E-16	214
特定廃家電(資源化物のリサイクル)	/t	-1.61E+00	-7.43E-04	-9.64E-04	-1.57E-14	-31

5) ケーススタディ

前項で開発した災害廃棄物処理システムの評価方法の実行可能性や地域による適用方法の違い等を検討するため、3つのケーススタディを実施する。1つ目は、熊本地震により発生した災害廃棄物処理である。2つ目は、南海トラフ巨大地震を想定した三重県南伊勢町での自区内処理(一部広域処理を含む)による特定廃家電の処理である。3つ目は、同じく南海トラフ巨大地震を想定した三重県全域での自区内処理・広域処理による可燃物の処理である。1つ目はすでに発生した大規模自然災害であり、2016年12月時点の実績値等をもとにして環境的・経済的評価を実施することで、本研究で開発した手法の有効性を検討する。2つ目、3つ目のケーススタディでは、都市ストックモデルを用いて推計された災害廃棄物発生量をもとに、災害廃棄物のリサイクルシステムを構築した場合の環境・経済評価を実施する。本ケーススタディを通じて、各課題を一連の枠組みとして自治体の災害廃棄物対策に適用する際の利点や問題点等を検討する。

a 熊本地震

熊本地震は2016年4月に発生した。震央は熊本県熊本地方であり、最も被害が生じた地震は4月16日に発生したものであった。地震の最大規模は震度7.3であり、181人の犠牲者、190,000棟の全半壊による建物被害が発生した。熊本地震に伴い発生した災害廃棄物は、3,160千t(2016年11月末時点)である¹⁵⁾。本研究では、熊本県⁷⁾の災害廃棄物処理案をもとに、処理を実施した場合の環境面、経済面での評価を実施する。但し、本研究の実施時点(2016年12月)では、広域処理の具体的な実施方法が不明であったことから、全て県内で処理することを想定した。また、産業廃棄物処理施設との連携についても不明であったことから、特定の処理施設を挙げて評価することはせず、県下の処理施設を利用した場合を想定して評価した。

災害廃棄物は、図3-7に示す8種類を対象とする。その他の災害廃棄物は組成が不明であるため、対象外とした。対象とするプロセスは、運搬、1次・2次仮置場、破碎、焼却(ごみ焼却施設のみ)、埋立である(図3-7)。1次仮置場は県内66ヶ所、2次仮置場は同1ヶ所、ごみ焼却施設は同21ヶ所である。2016年12

月時点では、各処理施設での災害廃棄物種類別の処理量は不明なため、ごみ焼却施設は処理余力¹⁶⁾を考慮して県内の全施設で処理すると仮定した。破碎処理施設、最終処分場は、2次仮置場や焼却施設と県内の各処理施設間との平均距離を算出した。なお、1次仮置場と2次仮置場の運用に伴う軽油消費量およびコストの算出方法について、両者に式3-13、式3-14を用いた場合、2次仮置場の数値が過大に大きくなり、最終的な結果に与える影響が大きくなる。これは、1次仮置場の平均面積が1.2haであるのに対し、2次仮置場は98haと規模が極めて大きいためである。そこで、仮置場は焼却施設のように、面積が大きくなるほど規模の経済性が働くと仮定した。これを踏まえ、2次仮置場の運用に伴う軽油消費量およびコストは、2次仮置場の面積を1次仮置場の平均面積で除したものに0.6乗を乗じ、1次仮置場の運用に伴う軽油消費量およびコストを掛け合わせることで算出した。

b 三重県南伊勢町

三重県南伊勢町は人口13,891人、世帯数6,159世帯(いずれも2016年)の小規模な都市である。土地面積241.89km²のうち、大部分は山間部であり、宅地は約1.0%にすぎない。多くの居住지가、沿岸部に位置している。これらの地域では南海トラフ巨大地震の際には、5.4～6.6の地震の揺れ、0.1～7.4mの津波浸水深が予測されている。沿岸部では津波被害が大きくなり、内陸部ほど地震の揺れや液状化による被害が大きくなる地域であるといえる。

ここでは、南海トラフ巨大地震が発災したと想定し、発生する特定廃家電(洗濯機、冷蔵庫、テレビ、エアコン)のリサイクルに係る環境負荷とコストを算出することを目的とする。図3-8に、システム境界を示す。1次仮置場では発生場所から撤去した災害廃棄物を分別せずに保管し、2次仮置場では分別して保管すると想定する。2次仮置場で分別された特定廃家電は、家電リサイクル工場まで輸送されて処理される。特定廃家電は、三重県・愛知県内に存在するA・Bグループの家電リサイクル工場に輸送され、リサイクルされるとする。発生場所から1次仮置場までの災害廃棄物の輸送は、輸送に携わる主体(被災者、ボランティア、民間業者等)が様々であることから、システム境界から外した。

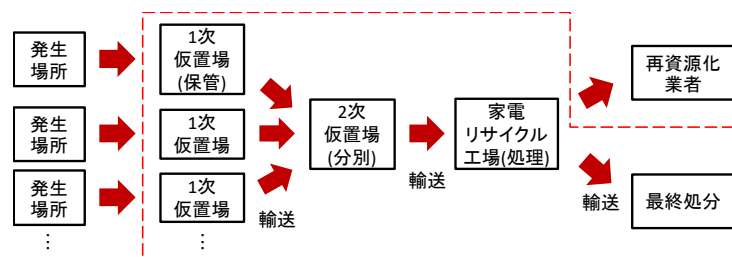


図3-8 システム境界

地震の被害想定でよく挙げられる被害の種類は、地震による揺れ、津波、火災、地すべりである。本稿ではこのうち、津波被害に伴って発生する災害廃棄物を対象とした。三重県庁は、居住人口500mメッシュデータ、津波ハザードマップのポイントデータを県HPで公開している¹⁷⁾。津波浸水深2m以上の地区内の建物は全壊すると想定し、地理情報システム上で上記データを重ね合わせることで、災害廃棄物発生量を推計した。全体の災害廃棄物発生量は環境省¹⁸⁾等、特定廃家電の発生量は田畑ら¹⁹⁾をもとに算出した。災害廃棄物発生量の推計結果より、仮置場の必要面積を推計した。必要面積は、環境省¹⁸⁾等をもとに算出した。なお、2次仮置場では、某豪雨災害被災地での視察をもとに、特定廃家電は平置きし、その他の災害

廃棄物は積み上げると想定して、必要面積を推計した。仮置場の候補地は公有地(グラウンド等)と私有地(駐車場等)とし、Google Earth を用いて目視で供給可能な面積を割り出した。私有地を対象とした理由は、本町は公有地が少なく、私有地も使用しなければ仮置場を確保できないと判断したためである。1ha 以上の土地が確保できる場所に 1 次仮置場、10ha 以上の土地が確保できる場所に 2 次仮置場を設置すると想定した。

仮置場における重機等の稼働に関するデータは、佐伯ら²⁰⁾の調査結果を用いた。1 次仮置場から 2 次仮置場までの輸送は 4t トラック、2 次仮置場から家電リサイクル工場までの輸送は 10t トラックを用いると想定した。特定廃家電の排出量をもとに、トラックの必要台数と輸送距離を算出した。家電リサイクル工場での処理は、筆者らの聞き取り調査結果を用いた。家電リサイクル工場は、三重県(四日市市、伊賀市)と名古屋市にあるグループ A・B の各工場を利用すると想定した。以上の想定を踏まえて収集したデータに、MiLCA に掲載されている環境負荷原単位を乗じることで、各プロセスの単位環境負荷を算出した。

c 三重県全域

三重県の面積は 5,774km²である。総人口は約 1,800,000 人、世帯数は約 720,000 世帯である²¹⁾。三重県は、全 29 市町からなる。また、本県は、北勢、中南勢、伊賀、伊勢志摩、東紀州の 5 地域に分けられる(図 3-9)。北勢は自動車や半導体等を製造する工業地帯が形成されており、都市化が進んでいる。一方、東紀州や伊勢志摩は主要な産業が漁業や観光業であり、人口減少が顕著である。三重県²²⁾では、南海トラフ巨大地震などを想定して、地震被害の予測を行っている。これによると、震度 6 以上の地震は県土の 94.7%で発生すると予測されており、特に沿岸部での地震被害が大きいと予測されている。また、津波被害は沿岸部で多く発生すると予測されている。本県における最大津波高さは 11.7m であり、浸水予測面積は 283km²である。これは、県土面積の 4.9%に相当する。浸水面積は少ないように見えるが、沿岸部は住宅が多く存在し、また工業地帯も形成されているため、人的・経済的被害は大きい。液化化は、北勢や中南勢の沿岸部で多く発生すると予測されている。南海トラフ巨大地震の発生に伴う建物全壊棟数は最大で 250,400 棟、死者数は最大で 34,000 人と推計されている。

三重県²³⁾は南海トラフ巨大地震等を想定した災害廃棄物処理計画を作成している。これによると、災害廃棄物発生量を最大 33.9 百万 t と予測している。これは三重県におけるごみ発生量の約 52 年分に相当する。三重県では、このような膨大な災害廃棄物を、大規模自然災害の発生から 3 年間で処理を完了することを目標としている。これを実施するため、被災地で発生する災害廃棄物を撤去後、一次仮置場で保管すること、続いて二次仮置場で可燃物、不燃物、コンクリート、金属くず、木くず、その他に分別し、可能な限り二次資源としてリサイクルすることを定めている。また、リサイクルが困難な災害廃棄物は、焼却や埋立による適正処理をすることを定めている。これを実施するために、三重県下の一般廃棄物および産業廃棄物の焼却施設、最終処分場の場所、各処理施設の処理容量をまとめている。また、災害廃棄物を地域内で処理するか、他地域で処理するかについても検討されている。三重県の方針は、可能な限り地域内での処理を行い、無理な場合は地域外での処理を行うというものである。また、三重県は県下各市町に一次仮置場、二次仮置場を設置することを定めており、必要に応じて仮設焼却施設を設置することも定めている。しかし、2015 年 3 月の計画策定時点では、仮置場の場所は未定であった。仮置場の場所を決定することは市町自治体の責務であり、都市公園や学校のグラウンドが仮置場の候補地になりやすい。しかし、候補地とするには近隣に居住する住民等との折衝が必要であり、またある程度の面積の候補地を確保する必要があることから、自治体にとって仮置場の選定は悩みの種である。

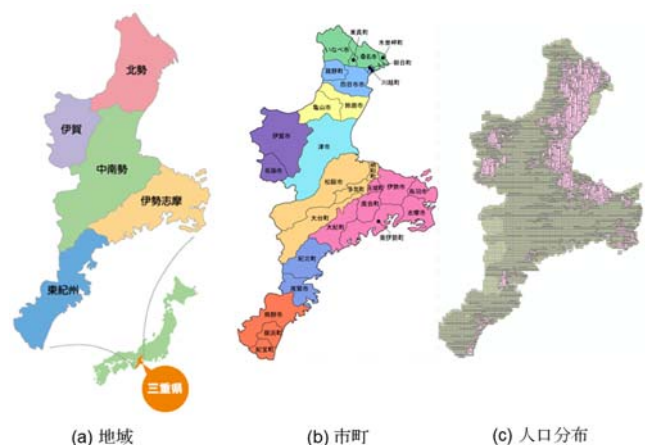


図 3-9 三重県の位置、人口分布 ²¹⁾

本節では、三重県が想定している災害廃棄物処理対策に準じる形で、3年間に処理を実施した場合での環境負荷とコストの試算、および検討すべき課題等の抽出を行う。これを実施するため、三重県全域を対象として、住宅由来の災害廃棄物の一種である可燃物を対象としたケーススタディを実施する。可燃物を対象とした理由は、日本ではごみや産業廃棄物向けの焼却施設が多く設置されており、発災時にはこれらの処理施設を災害廃棄物の処理に利用することが定められている。しかしながら、災害廃棄物は多量に発生することから、地域内で処理が完結することは稀である。簡潔にいうと、ある地域で発生した可燃物をその地域内に存在する焼却施設で処理することが困難な場合は、より遠くの焼却施設に輸送する必要がある。そのため、自区内処理だけでなく、広域処理も含めた処理システムの検討が必要である。その場合、より多くの環境負荷やコストが発生する。そのため、可燃物を対象とすることで、輸送や処理に伴うネットワークをどの程度まで大きくすればよいかを、数理モデルを用いてシミュレーションすることができる。また、Tabata et al.¹⁰⁾はごみ処理において焼却由来の環境負荷の発生が支配的であることを明らかにしている。そのため、災害廃棄物においても可燃物を対象とすることが重要であると判断した。

まず、南海トラフ巨大地震の発災に伴う災害廃棄物および津波堆積物の推計を行った。災害廃棄物の推計フローを図 3-10 に示す。地震、地すべり、津波の被害を対象として、建物倒壊数に建物材料別の原単位を乗じることで住宅建物の災害廃棄物発生量を推計した ^{24), 25)}。災害廃棄物の内訳は、参考文献 ²⁶⁾ より可燃物 18%、不燃物 18%、コンクリート 53%、木くず 7%、金属くず 3%と設定した。発災時期は、2015 年と 2035 年の 2 時点とする。本稿では、2015 年の結果のみ示す。また、三重県 ¹⁷⁾ は「防潮施設が機能する場合(防潮堤、防波堤等の防潮施設が地震によって被害を受けず、本来の役目を果たすと仮定)」と「防潮施設が機能しない場合(地震によって防潮堤が崩壊し本来の機能が発揮されないと仮定)」の 2 ケースについて津波ハザードマップを作成している。これを踏まえ、本稿では、防潮施設が機能する／しない場合の 2 ケースについて評価を行う。

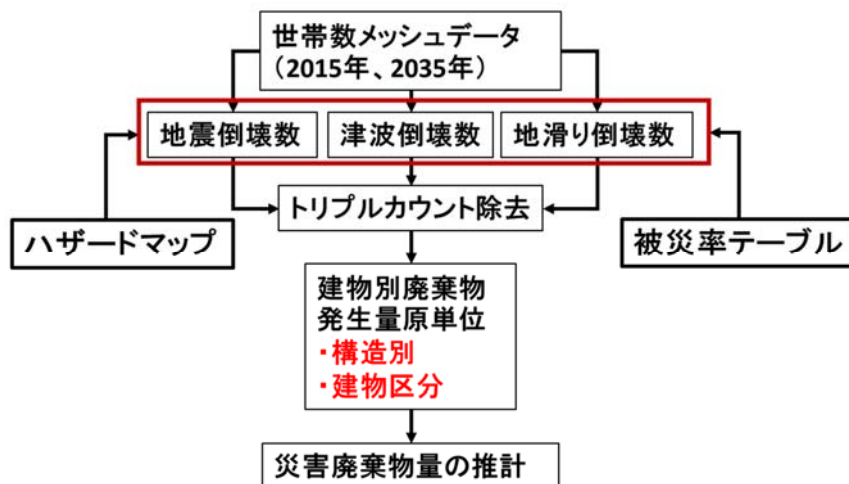


図 3-10 災害廃棄物の推計フロー

図 3-11 にシステム境界を示す。本稿では、可燃物の処理に伴う環境負荷(CO₂、SO_x、NO_x、PM)とコストを算出する。このうち、1次仮置場については、災害廃棄物の積み上げ高さは5m²⁷⁾と仮定し、仮置場の必要面積を算定した。また、学校や都市公園の半分の面積を仮置きできると仮定して、地理情報システムを用いて県内の仮置場の供給可能面積を算出した。2次仮置場は、1次仮置きを除いた、15ha²⁶⁾以上の余剰面積がある場所に設置すると仮定し、分別と仮設焼却を行うと想定した。焼却施設および最終処分場は、県内の一般廃棄物および産業廃棄物処理施設を利用すると想定した。

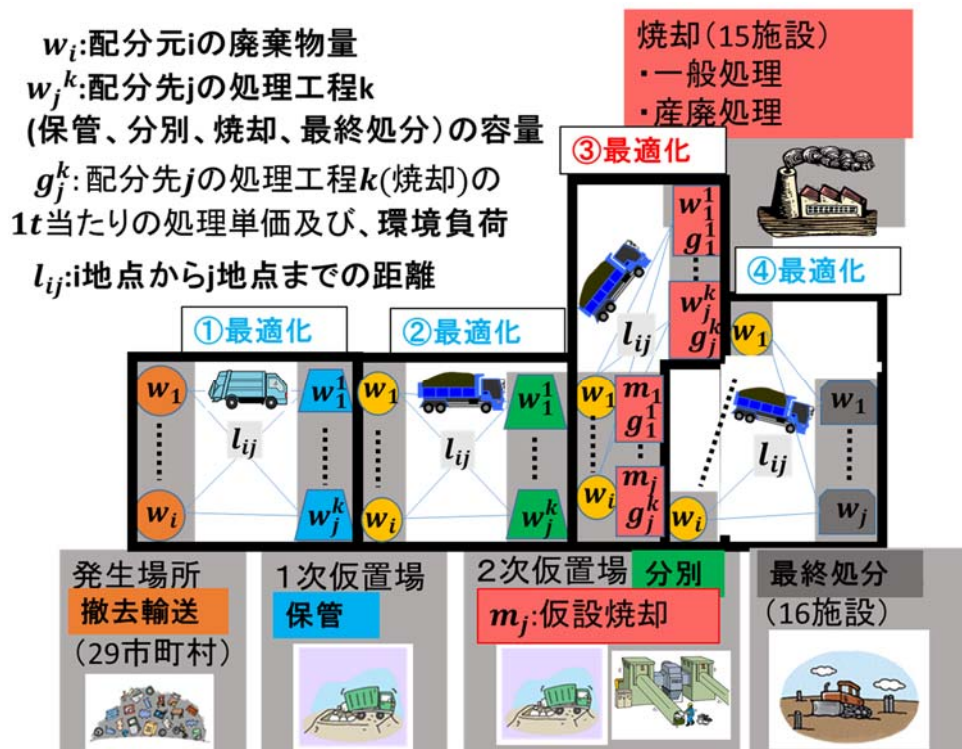


図 3-11 システム境界

プロセス間での輸送ネットワークの計算(図 3-11 の①、②、③、④)は、以下に示す数理モデルを用いて解を導出した。①～④についてそれぞれ最適化計算を実施した理由は、一括で実施するよりも計算負荷が軽減できるためである。目的関数は環境負荷、コストの最小化である。制約条件は、処理施設の処理規模と処理余力、仮設焼却施設の設置の有無である。コストの最適化では、環境省²⁸⁾のデータを用いてトラック台数及び費用を算定した。

$$\text{Minimize} \quad \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (w_{ij} \times l_{ij}) \quad (3-15)$$

$$\text{Subject to} \quad \sum_{i=1}^n w_i = W_I \quad (3-16)$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = W_J \quad (3-17)$$

$$\text{Minimize cost} \quad \sum_i \sum_j \left(\frac{w_{ij}}{A_{ij}} \cdot H_{\alpha} \cdot M_{\beta} \right) + \sum_i \sum_j \sum_k (w_{ij}^k \cdot g_j^k) + \sum_j \sum_k (m_j \cdot g_j^k) \quad (3-18)$$

$$\text{Minimize environmental load} \quad \sum_i \sum_j (w_{ij} \cdot l_{ij} \cdot T_{\gamma}) + \sum_i \sum_j \sum_k (w_{ij}^k \cdot g_j^k) + \sum_j \sum_k (m_j \cdot g_j^k) \quad (3-19)$$

$$\text{Subject to} \quad \sum_i^n m_i + \sum_j^n \sum_k^n w_{ij}^k = \sum_i^n w_i \quad (3-20)$$

$$\sum_j^n \sum_k^n w_{ij}^k \leq \sum_j^n w_j^k \quad m_i \leq M \cdot y_i \quad w_{ij}^k \geq 0 \quad (3-21)$$

$$A_{ij} = D_{ij} \times S \times R \quad (3-22)$$

$$D_{ij} = \frac{H}{2 \times \left(\frac{l_{ij}}{V} + U \right)} \quad (3-23)$$

但し、 A_{ij} ：トラック輸送能力[t・日/台]、 D_{ij} ： $i \sim j$ における1日当たり往復回数[回/日]、 S ：トラックの積載容量[t] (4tトラック(発生場所～1次仮置場)=4t/10tトラック(2次仮置場～家電リサイクル工場)=10)、 R ：トラックの積載率[-] (=0.7)、 H_{α} ：1日当たり稼働時間[h/d] (=8h or 24h)、 V ：輸送速度[km/h] (一般道路=37.1)、 U ：トラック積み下ろし時間[時] (=0.155)、 M_{β} ：1時間当たりトラック稼働単価[円/時] (4tトラック=4,775 / 10tトラック=6,950)、 T_{γ} ：トラック輸送1t1km当たりの環境負荷(CO₂, SO_x, NO_x, PM)[kg/km・t]

(4) 災害廃棄物の撤去・収集・広域処理等に係る住民意識の評価

1) 災害廃棄物の撤去・収集・広域処理等に係る住民意識の評価

4(3)節での三重県全域でのケーススタディを通じて、災害廃棄物処理に係る撤去費は無視できないことが明らかになった。同様に4(3)節での発災からの時間変化を考慮した災害廃棄物の発生量・組成に関

する実態調査より、仮置場への持ち込み量とその組成が異なることが明らかになった。発災当初の数日間、自治体では人命救助、被害に関する初動調査、避難所や仮置場の開設等の作業が発生するため、災害廃棄物の十分な撤去作業を行うことは難しい。その際、撤去作業の中心を担うのが被災住民や町内会・自治会・ボランティアのような任意組織、自衛隊等の協力者である。

自助・共助・公助の考え方に当てはめるとするならば、自助は被災者自身による撤去作業への関与、共助は被災者の周りの住民や近親者、任意組織による関与、公助は自治体や自衛隊等による関与と考えることができる。南海トラフ巨大地震では広範囲で複数の自治体が被災することが想定されることから、ボランティアや自衛隊が各地に分散され、特に発災後の初動の段階で彼らの協力を十分に得ることは難しいと考えることができる。公助に頼るのは限界があり、その中で災害廃棄物の撤去作業の中心となるのは、自ずと地域の被災者となる。そのとき、自助・共助による助け合いを通じながら撤去作業を行っていくことが肝要となるが、これを実施するために、自治体では、その地域における自助・共助にどれだけ依存できるかを計測するとともに、課題や限界等について検討しておくことが求められる。具体的には、地域に存在するコミュニティが撤去作業にどのような役割を果たすことができるか、被災者自身がどれだけ自助に関与することができるか、被災者が周りとの協力関係のもとにその役割を増進できるか、ということである。本節では、3(4)2)節において地域コミュニティの役割について分析するとともに、3(4)3)節において社会関係資本の考え方を利用した被災者とその周りの協力者の役割について分析する。

また、同様に、4(3)節での三重県全域でのケーススタディを通じて、災害廃棄物の処理には自区内処理のみでは限界があり、広域処理をせざるおえないことが明らかになった。災害廃棄物の広域処理は必須ではある。広域処理の受入自治体はタウンミーティング等を開催し、受入自治体の住民に説明を行い、広域処理に伴う利点やリスク等を受入地域の住民に説明し、受入に関する合意形成を行う必要がある。このような手続きは、いわゆるリスクコミュニケーションの一環であるといえる。しかし、首長の強いリーダーシップがない場合や災害廃棄物の受け入れリスクが高いと判断された場合は、住民の大きな反対が発生し、広域処理自体がうまくいかない事態が発生する。これを避けるためにも、災害廃棄物の広域処理を検討する際に、受入自治体が地域住民とリスクコミュニケーションを実施する際の判断材料にはどのようなものがあるかを検討する必要がある。これを踏まえ、3(4)4)節において、南海トラフ巨大地震により発生した災害廃棄物がある自治体が受入れることを想定した場合に、地域住民がどのような判断を下す可能性があるかを分析する。

2) 災害廃棄物処理におけるコミュニティ力と災害に強いまちづくりの検討

東日本大震災では地震と津波によって大量の災害廃棄物が発生した。建物が倒壊し莫大な人的被害を被った上に、津波に襲われその被害はより一層深刻化した。災害廃棄物の処理が遅れると復興の妨げになるため迅速に処理しなければならない。そこで、大震災により発生した災害廃棄物の処理にはどのような特徴を持ったコミュニティが関与したか、またその背景について分析し、今後の方策を考える必要がある。本節では、自治会・町内会の情報、災害の時に自治体がコミュニティに期待することについて全国の市町村を対象にアンケート調査を行った。また、災害廃棄物について東日本大震災の影響が大きかったと考えられる太平洋側の7県を対象にアンケート調査を行った。この結果、どのようなコミュニティの状況であれば災害廃棄物処理が円滑に進むのか、またコミュニティの力を高めるためにはどのような方策があるのかなどを分析することで、災害に強いまちづくりのあり方について検討した。

アンケート調査は、2015年6月26日～8月31日に行われた。調査概要を表3-10に示す。まず、災害廃棄物の処理とコミュニティの関係を検討するため、東北4県（青森県、岩手県、宮城県、福島県）と関東3県（栃木県、茨城県、千葉県）の計7県（以下、東北と称す）、計290の市町村を対象とし東日本大震災による災害廃棄物量について調査した。この中で住民が搬送した災害廃棄物は、住民が処理施設に直接搬送した災害廃棄物量と住民が仮置き場に搬送した災害廃棄物量があると考えられるが、ここではその合算値を用いた。次に、2013年9月1日現在の住宅被害状況¹⁾をもとに、一棟あたりどれだけの災害廃棄物が住民により処理場・仮置き場まで搬送されたのか市町村ごとに計算した。この搬送量をもとにコミュニティの持つ多様な要素の何が搬送量に関係しているのかを分析する。これらの要素は、自治会・町内会への加入世帯割合、65歳以上と15～64歳の人口割合、第1次と第2次産業者割合、最終学歴、刑法犯認知件数である。ここで、個々のデータのばらつきが大きいことから、これら搬送量及び要素のデータを一定区間ごとに区切り、この区間ごとに平均値を算出し用いた。

表 3-10 アンケート調査の概要

調査期間	調査方法	対象	項目	アンケート項目	質問目的
2015年 6月27日～8月31日	アンケート用紙を 郵送	全国	自治会・町内会	加入世帯	自治会・町内会の特徴を把握するため
				コミュニティに期待すること	
2015年 6月27日～8月31日	アンケート用紙を 郵送	東北	災害廃棄物	災害廃棄物の発生量	①発生した災害廃棄物を把握するため
				住民が搬入した手段	②運搬に住民が関与しているかを把握するため 自治会・町内会の特徴を把握するため

次に、全国の市町村を対象に災害・復興時のコミュニティに期待することについて調査（自由記述式アンケート）し、語彙の出現頻度や語彙間の関係性を分析するテキストマイニングを行った。テキストマイニングの結果から語彙の出現度を01型データにし、コレスポンデンス分析を行った。コレスポンデンス分析では、視覚的に単語や回答者のグルーピングを行うことができる²⁾。

3) 災害廃棄物の撤去・収集に地域の社会関係資本が果たす役割の分析

本節では、人的ネットワークをソーシャル・キャピタル（SC）の視点から分析し、災害廃棄物の撤去・収集といった災害廃棄物管理においてSCが果たす役割を明らかにする。SCの定義は、『人々の協調行動を活発にすることによって社会の効率性を高めることのできる「信頼」「規範」「ネットワーク」といった社会組織の特徴³⁾』である。日本においては、内閣府⁴⁾がPutnam³⁾の定義の3要素を分かりやすい項目に読み替えて、SCの定量化を行っている。本研究も内閣府の調査と同様に、「社会的信頼」は一般的な「信頼」とし、「互酬性の規範」は社会活動への参加を示す「社会参加」とし、「ネットワーク」は近隣の付き合いなどを示す「つきあい・交流」と読み替えて調査を行った。Aldrich⁵⁾は、Lin⁶⁾によるSCを基盤としたネットワーク概念を用いて、SCの3種のネットワークを定義している（図3-12）。それらは、規範とSCのつながりを通じた情報伝達を伴うBonding、Bridging、Linking SCである。さらにAldrich⁵⁾は、社会ネットワークのメンバー間の水平と垂直方向の情報伝達及び、決定過程における資源へのアクセスに着目した。Bonding SCは、同一コミュニティメンバー間のつながりを指す⁷⁾。近しい親族などの最もシンプルな水平の結びつきである。グループへの強い帰属意識があることが特徴である。本研究におけるBondingメンバーは、家族、親戚と近所の人とした。Bridging SCは、地域を超えたグループやネットワークのメンバーをつなぐものであり、民族、人種や宗教などを超えるものである⁸⁾。Bridging行動や組織とは、異なる地域、出身や

言語グループ間で協力することである。本研究における bonding メンバーは、友人と知人とした。Linking SC は、公式及び制度化した権力や社会の中の権限者との間の信頼関係のネットワークである⁸⁾。これらは、一般市民と権限者間の垂直ネットワークである。本研究では、Linking メンバーは地方自治体、地域外から来る協力者及び政府機関とした。

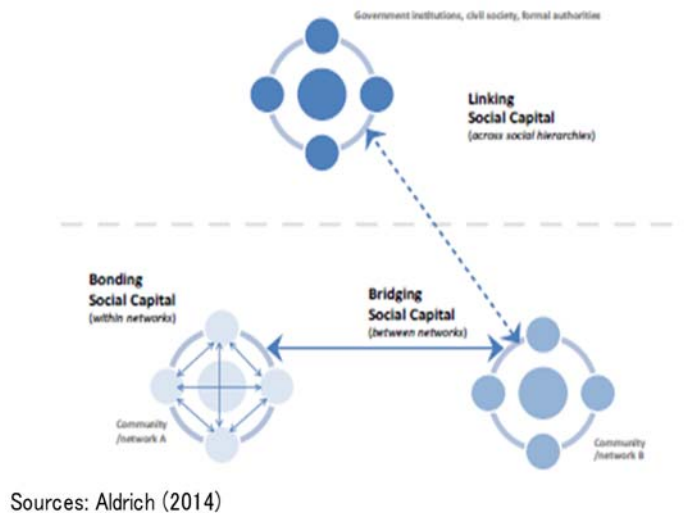


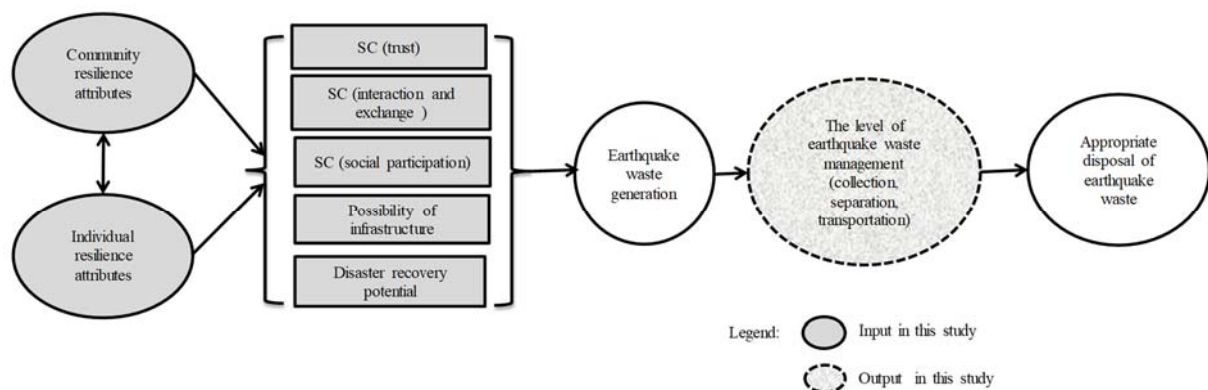
図3-12 Bonding、Bridging、Linking SC ネットワーク

レジリエンスとは、回復や再構築のための能力を意味する(Norris et al.⁹⁾)。表 3-4-2 にコミュニティ・レジリエンスの定義を示す。本研究では、Coles et al.¹⁰⁾による「災害からの回復に関与するためのコミュニティの能力、技術、知識」を用いる。本節では、災害廃棄物管理におけるコミュニティ・レジリエンスや個人レジリエンスは、インフラ開発可能性、ソーシャル・キャピタル、潜在的復興力から構成されると定義した。これらをインプットとし、コミュニティや市民における地震災害廃棄物管理（収集・分別・運搬）をアウトプットとするフレームワークを設定した(図 3-13)。

表 3-11 コミュニティ・レジリエンスの定義

Citation first author, year	Definition
Brown, 1996	Community The ability to recover from or adjust easily to misfortune or sustained life stress
Sonn, 1998	Community The process through which mediating structures (schools, peer groups, family) and activity settings moderate the impact of oppressive systems
Paton, 2000	Community The capability to bounce back and to use physical and economic resources effectively to aid recovery following exposure to hazards
Ganor, 2003	The ability of individuals and communities to deal with a state of continuous, long term stress; the ability to find unknown inner strengths and resources in order to cope effectively; the measure of adaptation and flexibility
Ahmed, 2004	The development of material, physical, socio-political, socio-cultural, and psychological resources that promote safety of residents and buffer adversity
Kimhi, 2004	Individuals' sense of the ability of their own community to deal successfully with the ongoing political violence
Coles, 2004	A community's capacities, skills, and knowledge that allow it to participate fully in recovery from disasters
Pfefferbaum, 2005	The ability of community members to take meaningful, deliberate, collective action to remedy the impact of a problem, including the ability to interpret the environment, intervene, and move on

Sources: Norris et al. (2008)



Notes: This is Kawamoto's expansion of Abramson et al. (2014)

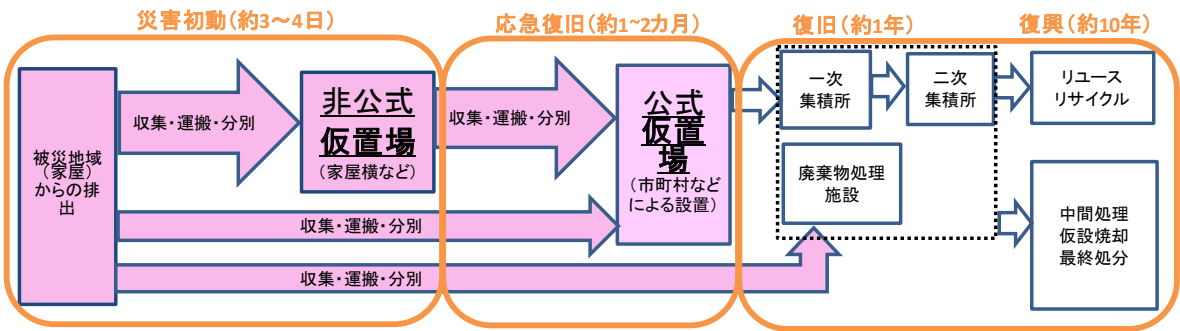
図3-13 SC、レジリエンス、災害廃棄物管理のコンセプト・フレームワーク

地震に伴い発生する災害廃棄物には、地震、津波及び避難所から発生する廃棄物がある¹¹⁾ (表 3-12)。本節で対象とする災害廃棄物は、地震及び津波から発生するものとした。自動車や大型の廃棄物の管理は市民にとって困難であるため、本研究の対象には含めていない。市民とコミュニティによる地震廃棄物管理のフローを図 3-14 に示す。市民が関与する仮置場は、非公式及び公式の 2 種類が見られる (図 3-15)。非公式な仮置場は、個人の生活空間の確保や道路確保のため仮に集積する空間 (家屋横など) である。公式な仮置場は、市町村などが指定し、焼却やリサイクル処理前に災害廃棄物を一定期間保管する空間 (市街地内の公園など) である。仙台市の場合、公式な仮置き場は地震発生後 5 日目 (発生日を含む) に開設された。本研究で対象とする市民による地震災害廃棄物管理行動は、収集、運搬、分別である。

表 3-12 災害廃棄物の分類

カテゴリー		概要
地震	家財ごみ	地震により破損・故障した家財等の廃棄物
	家屋ごみ	地震で倒壊した家屋（家財等を含む場合もある）
	車	
津波	津波浸水ごみ	津波による浸水があったものの、大きな倒壊には至らなかった地域における海水等を被った廃棄物（家財中心）
	津波倒壊ごみ	津波等により、倒壊し、海水等を被った家屋（家財等を含む場合もある）
	津波堆積物	津波により巻き上げられて運ばれ、陸地に堆積した堆積物（汚泥、ヘドロ、土砂等の場合もある）
	水産物	災害に伴って廃棄物となってしまう水産物・水産加工物（津波堆積物と混ざったものあり）
	車、船舶、大型物、コンクリートがら、草本類、その他	
避難	避難ごみ	避難所生活や避難生活から排出・保管されている生活ごみ等
	医療系ごみ	医療機関や介護施設、避難所等から出る医療系廃棄物

出典：廃棄物資源循環学会(2012)
注：  本研究で対象とした廃棄物



非公式仮置場：個人の生活空間の確保、道路確保などのため、仮に集積する。（家屋横の空き地など）
公式仮置場：市町村などが指定し、焼却やリサイクル処理前に災害廃棄物を一定期間保管する。（市街地内の公園など）

赤色部分：市民が関与する災害廃棄物管理行動
廃棄物資源循環学会¹¹⁾及び仙台市資料を参考に作成
図3-14 市民とコミュニティによる災害廃棄物管理フロー



Informal temporary storage site



Formal temporary storage site

Sources: Archive materials of Great East Japan Earthquake (Kesennuma city)
Photo archives of Great East Japan Earthquake (Sendai city)

図3-16 市民が関与する仮置場

本節で対象とする地域は2地域である。前者は、東日本大震災の被災地域である岩手県及び宮城県沿岸の27市町村である（図3-17）。これらの市町村は東日本大震災による甚大な被害を経験しており、市民は災害廃棄物の管理に関する経験を有している。東日本大震災では、福島県でも放射性廃棄物を含む災廃棄物が発生したが、市民が放射性廃棄物を安全に管理することは困難であることから、福島県を対象に含めなかった。後者は、南海トラフ巨大地震による沿岸域被害が予測される、静岡県、愛知県、三重県の全市町村を対象とした。

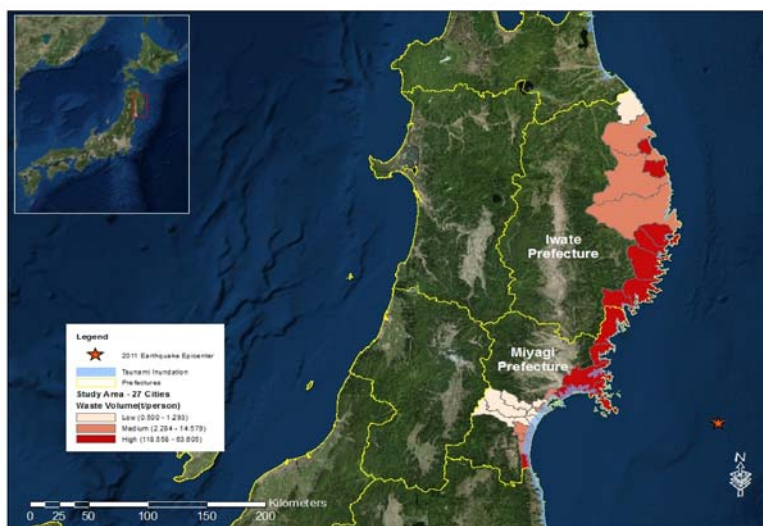


図3-17 研究対象地（東日本大震災地域）

4) 将来発生しうる災害廃棄物の広域処理受け入れに関する住民意識の分析

三重県での可燃物処理のケーススタディより、ブロック内で処理を完結させることは困難であり、広域処理の実施が必須となることが示された。しかしながら、広域処理の実施には、受け入れ地域の住民の合意を得ることが肝要である。東日本大震災の事例では、発災当初、政府や被災自治体による災害廃棄物受け入れの要請に対して、572自治体が広域処理による受け入れの意向を表明した。しかし、その後、多くの自治体が災害廃棄物の受け入れを撤回し、実際に受け入れを行ったのは54自治体に留まった¹²⁾。主な理由は、福島第一原子力発電所の事故により飛散した放射性物質の災害廃棄物への付着であり、汚染の拡散に不安を抱いた住民の反発であった^{12), 13)}。これを避けるため、災害廃棄物の受け入れに際して、タウンミーティングによる住民説明会を開催する等といった、住民を対象としたリスクコミュニケーションが実施された自治体もあった¹⁴⁾。放射性物質の影響はあったとはいえ、自治体が災害廃棄物を受け入れる際に住民の理解と協力が得られなければ、合意形成を図ることは困難であるということが明らかとなった事例であった。こうした状況は、災害廃棄物処理にどのようなリスクがあり、そのリスクを低下させるためにどのような取り組みが必要かについて、十分な知見が蓄積できていなかったことにその一因があると考えられる。広域処理に関わる行政・市民の間でリスクコミュニケーションを行い、災害廃棄物処理に関する共通の認識を持つことが重要である。そこで、災害廃棄物の広域処理に対する住民の理解に関する基礎的な知見を得るため、南海トラフ巨大地震の被害が想定される地域に居住する住民を対象としてインターネット調査を行うとともに、統計解析、テキストマイニングの各方法を用いて、災害廃棄物の受入れ賛否に関わる意思にどのような要因が影響しているのかを明らかにした。

図3-18に、リスクコミュニケーションの実施手順を示す。全国産業廃棄物連合会¹⁵⁾によると、リスクコミュニケーションは、早い段階で、相手の求める情報を把握して応えること、伝えたい情報を相手がわかるように伝えることから始まる。これを踏まえると、広域処理に関する住民意識の把握は、同図の②に該当するといえる。

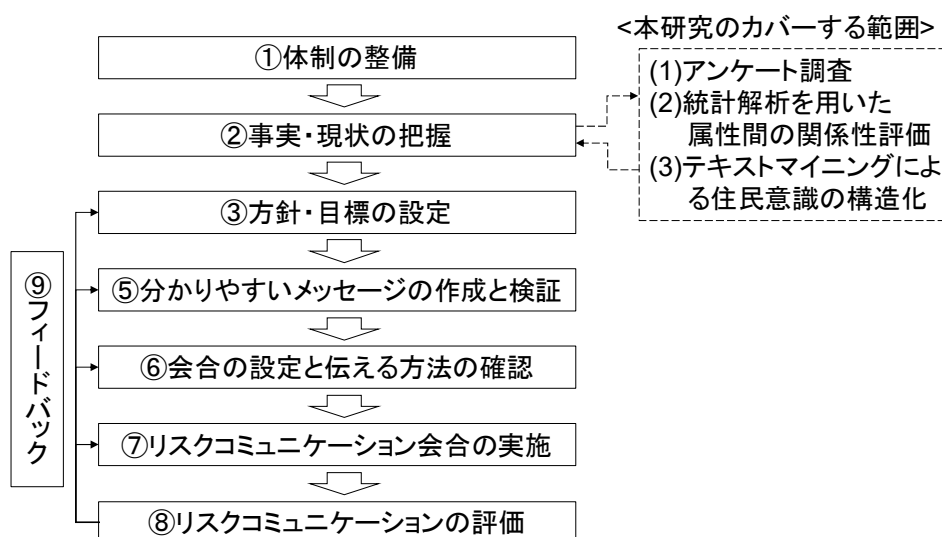


図3-18 リスクコミュニケーションを進める手順の例と本研究のカバーする範囲

(注釈：全国産業廃棄物連合会¹⁵⁾に筆者が加筆・修正を行った)

a アンケート調査

まず、広域処理に関する住民意識を抽出するためのアンケート調査を行う。アンケート調査は、ネットリサーチ会社が保有・連携するリサーチ専用パネルを用いて、2015 年 11 月に実施した。対象地域は兵庫県と三重県であり、対象モニター数は 20 歳～69 歳の計 2,005 名である。これらのモニター 2,005 名から得られた結果を、有効回答数として取り扱った。これらの地域を対象とした理由は、南海トラフ巨大地震の発生を想定したためである。兵庫県、三重県ともに、地震の揺れと津波による被害が想定されている。また、兵庫県は過去阪神淡路大震災の被災地であり、自らの地域で過去に災害を経験していたことは受け入れの意向に影響する可能性があると考えられる¹⁶⁾。

調査項目は、回答者属性と本質問である(表 3-13)。なお、本質問を提示する前に、モニターは広域処理のメリットとデメリットを読み、その後に本質問に答える形式をとった。提示したメリットは被災地の早期の復旧・復興に貢献することができること、デメリットは災害廃棄物に有害な物質が混入し、移動する可能性があること、である。ここでは、東日本大震災において発生した災害廃棄物の発生量を示すとともに、東日本大震災や阪神・淡路大震災において広域処理が実施されたことを説明した。本質問では、具体的な情報を提示することに伴う回答時のバイアス発生を避けるため、南海トラフ巨大地震のような特定の大規模自然災害名、災害廃棄物の発生場所や発生量等の情報は出さないようにした。本質問では、ある震災が発生したことで災害廃棄物が発生し、回答者の居住地域で広域処理が実施されることになったことを想定してもらうように質問票を作成した。本質問は、表 1 に示す 3 項目について尋ねた。なお、項目(1)-①の質問については、質問中に「木くず、紙くず等」と具体的な廃棄物の名称を入れて、回答者にイメージしてもらうようにした。また、項目(1)-③の質問については、質問中に「放射性物質等」と具体的な名称を入れて、回答者にイメージしてもらうようにした。項目(2)-①について、「居住地域でのごみ分別数に関する知識」は、回答者が居住している自治体が指示しているごみの分別数を知っている場合は「はい」、知らない場合は「いいえ」で回答してもらうようにした。同項目の「災害廃棄物処理計画の策定」については、回答者が居住している自治体が災害廃棄物処理計画を策定する状況を知っている場合は「はい」か「いいえ」、知らない場合は「わからない」で回答してもらうようにした。

表 3-13 質問の概要

回答者属性	居住形態(特家、賃貸等)、年齢、性別、最終学歴、職業等
本質問	
(1) 災害廃棄物の種類や分別の程度による受け入れ意思	① 廃棄物の種類(木くず、紙くずなど)ごとに分別されている災害廃棄物(受け入れたい、受け入れてもいい、どちらともいえない、受け入れたくない、絶対受け入れたくない、の5段階) ② 分別がされていない災害廃棄物(同上) ③ 放射性物質など、有害物質が付着した災害廃棄物(同上) ④ 上記①、②、③について、回答した理由
(2) 受け入れ意思に関わる知識や考え方	① あなたがお住いの地域に、焼却施設もしくは埋立処分場がある(はい、いいえ、わからない)、焼却施設もしくは埋立処分場に、見学に行った経験がある(同上)、あなたがお住いの地域のごみ分別数を知っている(同上)、あなたのお住まいの地域では、災害廃棄物処理に関する計画が策定されている(同上)、あなたのお住まいと、焼却施設もしくは埋立処分場の直線距離は、どのくらいですか(1km未満、1km以上5km未満、5km以上10km未満、10km以上、わからない) ② 災害廃棄物の安全性を提示する主体に関する質問 (a) 災害廃棄物の受け入れに関して、その安全性が「学識経験者」や「大学などの研究機関」などの第三者から示されれば安心できる(とてもそう思う、まあまあそう思う、どちらともいえない、あまりそう思わない、全くそう思わない、の5段階) (b) 災害廃棄物の受け入れに関して、その安全性が「行政」や「政府と関係省庁」から示されれば安心できる(同上) (c) 災害廃棄物の受け入れに関して、その安全性が「海外の研究機関」や「何かしらの国際基準」から示されれば安心できる(同上) ③ 災害廃棄物の分別を行う主体に関する質問 (a) 役所(役場)が主導で行うべきである(「とてもそう思う」から「全くそう思わない」の5段階) (b) ボランティアが主導で行うべきである(同上) (c) 市民が主導で行うべきである(同上)
(3) 受け入れの判断基準	「受け入れの判断基準」について自由記述

b 調査結果の統計解析、テキストマイニングによる住民意識の構造化

本質問の項目(1)の「災害廃棄物の受け入れ意思」の結果について、各尺度について、「受け入れたい(5点)」から「絶対受け入れたくない(1点)」まで1点刻みで得点を与えた。続いて、各調査項目に対応する尺度の平均点を求め、評価項目の変数値とした。同様に、本質問の項目(2)の「災害廃棄物の安全性を提示する主体」、「災害廃棄物の分別を行う主体」についても、「とてもそう思う(5点)」から「全くそう思わない(1点)」まで1点刻みで得点を与え、尺度の平均点を求めた。続いて、「災害廃棄物の受け入れ意思」と回答者属性、本質問の項目(2)とのクロス集計およびスコアの差の有意性の検定(t検定、分散分析)を行うことで、各属性間の関連性を考察した。

本質問の項目(1)の「災害廃棄物の受け入れ意思」の結果について回答した理由、本質問の項目(3)の「受け入れの判断基準」の自由回答結果について、テキストマイニングを用いて回答者の意識の構造化を行う。ここでは、樋口¹⁷⁾が開発したフリーウェアのKHCoderを用いて分析を行った。テキストマイニングでは、まず形態素分析(品詞毎に文章を分解する方法)を行い、頻出語の抽出を行う。続いて、テキストマイニングにより取り出した品詞について共起ネットワーク分析を行う。共起ネットワーク分析とは、出現パターンの似た品詞を線で結び(共起関係)、出現パターンの強弱をネットワークとして表す分析法である。これを実施するため、ここでは2つの文書の類似度を表すJaccard係数を算出している。Jaccard係数は0から1

までの値を取り、品詞間の関連が強いほど 1 に近づく¹⁷⁾。単純には、Jaccard 係数が 0.2 以上であれば強い関連があるといえることができる。

4. 結果及び考察

(1) 人工資本ロスストック発生量予測のための都市ストックモデルの構築

1) 建築物の蓄積量およびロスストックの推計手法の検討

a 住宅を対象とした推計

住宅のみを対象としたロスストック発生量の推計結果は、表 4-1 のようになる。ここでは、防災対策に関するシナリオとして、対策を実施しない成り行き型すなわち BAU (Business as Usual) シナリオ、2 種類の対策を考慮したシナリオの計 3 シナリオを設けた。1 つ目の対策シナリオは、地震対策を前提としており、築年数が古い住宅に対して耐震性を強化する「耐震シナリオ」である。2 つ目の対策シナリオは、津波の対策を前提としており、住宅を浸水域から住民及び住宅等を撤退させる「撤退シナリオ」である。

具体的な結果の一例として、三重県における 2010 年と 2050 年の津波対策の有無によるロスストック発生量を図 4-1 に示す。三重県全体のロスストック発生量は、対策を実施しない(BAU) 場合では、2010 年に地震で約 951.2 万 t、津波で約 389.0 万 t となり、2050 年では地震で約 206.5 万 t、津波で約 357.5 万 t と推計された。この結果から、BAU の場合には、住宅の老朽化に伴う建て替えにより、自然と新しい耐震基準の住宅に変わること、地震による発生量は大きく減少することが分かった。一方で、津波によるロスストック発生量はさほど変わらない。この理由は、住宅の立地に起因すると考えられる。すなわち、浸水想定区域に住宅が存在し続ける限り、津波の被害を受けるリスクは変わらず、また発生量は変わらない。津波の対策を検討した(住宅の移転)場合では、2010 年に対策を検討しない場合と同様であるものの、2050 年には地震で約 201.8 万 t、津波で約 41.7 万 t となった。このように、住宅の移転によって津波によるロスストック発生量は大幅に削減できることが分かった。また、概して、人口規模の大きいような津市、伊勢市、四日市市において発生量が多い。しかし、BAU の場合では四日市市や津市等の一部地域において発生量が増加したものの、住宅移転を行うことによって浸水想定区域に存在する住宅が撤退し、津波由来の発生量も削減されることが分かった。したがって、津波の対策として住宅移転を行うことはロスストック発生量を抑えるのに有効であると言える。ただし、津波の対策は住宅の立地を移すという比較的長い時間と経済的な負担が生じるものであり、また住宅所有の住民の理解を得る必要がある等、様々な意味でハードルが高い。

表 4-1 ロスストック発生量の推計結果の一覧

単位 万トン	2010 年						2050 年					
	BAU		耐震化		撤退率 100%		BAU		耐震化		撤退率 100%	
	地震	津波	地震	津波	地震	津波	地震	津波	地震	津波	地震	津波
神奈川県	53.7	859.1	42.6	859.7	53.7	859.1	10.2	800.9	10.2	800.9	17.9	110.2
静岡県 西部地域	1,856.3	206.2	1,200.1	251.6	1,856.3	206.2	712.8	185.1	714.8	185.1	688.9	24.6
三重県	951.2	389.0	481.6	487.1	951.2	389.0	206.5	357.5	206.5	357.5	201.8	41.7
高知県	637.6	260.8	350.0	355.6	637.6	260.8	205.4	234.5	205.4	234.5	93.1	49.9

※地域間の比較のため、ここでは津波の被害率の計算方法を合わせた結果を示している。ただし、一部計算は多少異なる箇所があるため、それに留意されたい。

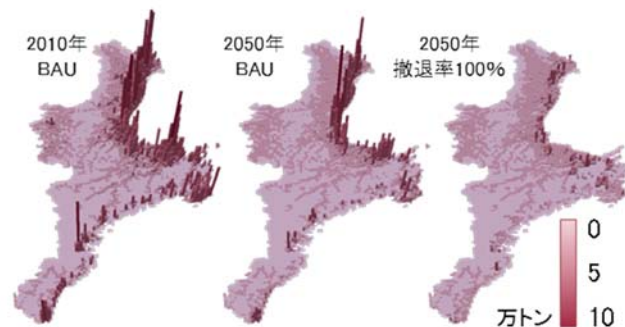


図 4-1 三重県における 2010 年と 2050 年の津波対策の有無による災害廃棄物の発生量

b 津波対策としての住宅移転に対する住民意向の分析

前述のロストストック発生量の推計では、発生量抑制に浸水想定区域外への住宅移転が有効であることが示された。この対策を実際に検討する場合、移転には居住権や財産権の問題が関係するとともに、住民に費用負担を強いるものであることから、住民との合意形成なしでは対策を進めることは難しい。そこで、南海トラフ沖地震における 8 県にまたがる津波浸水想定区域内の住民を対象に大規模なアンケート調査を実施することで、津波廃棄物の軽減を含めた防災・減災対策の 1 つとして、住宅移転に関する意向を詳細に把握した。その際、移転費用や移転距離など移転条件の違いや、居住属性の違いによる住宅移転意向の感度を詳細に分析し、事前移転事業の実現可能性の検討を行った。

南海トラフ沖地震の津波浸水想定区域内に居住する住民を対象として、津波災害に対する意向、とりわけ住宅移転に関する住民の意向を把握するため、アンケート調査を実施した(表 4-2)。

表 4-2 アンケート調査の概要

項 目	内 容
調査方法	インターネット調査
調査時期	2016年10月
調査対象地域	神奈川県／静岡県／愛知県／三重県／ 和歌山県／徳島県／高知県／宮崎県
サンプル数	2,000サンプル
調査対象者	・ 20歳以上の男女 ・ 住宅が津波浸水想定区域に含まれる (浸水高30cm以上) ・ 持家(戸建・集合)

さらに詳細に住民の住宅移転への意向を把握するため、異なる移転条件下のもとで、移転の検討を行うかどうかを知ることができる表明選好(Stated Preference: SP)調査を実施し、離散選択モデルを用いて移転条件や個人・世帯属性による意向の違いを分析した。SP 調査による設問の設計では、異なる移転条件のプロファイルを提示し、各プロファイル下で移転を検討するか否かの選好結果を得る仮想選択方式で設計した。プロファイルを設計するうえで必要な移転条件としては表 4-3 に示す 4 つの項目を対象とし、項目に対し 2 つまたは 3 つの水準を設定したうえで、直行配列表を用いて組み合わせることで 12 のプロファイルを得た。その上で、各回答者に順番に各プロファイルを提示し、それぞれについて移転を検討するか否

かを選択してもらうことで、1人の回答者から12の選好結果を得ている。本モデルに組み込む個人属性は、性別、年代、世帯、居住地域のほか、別途アンケート調査において把握している海との位置関係、海との関わりなども考慮した。

表 4-3 移転条件および水準設定

条件項目	水準設定およびその説明（アンケート回答者にも提示）	
移転先	現在の住まい近く	なるべく現在のお住まいの近くで安全な場所に移転地を設定
	同じ自治体内	お住まいの場所にこだわらず同じ自治体の中で安全な場所に移転
移転方法	集団での移転	現在お住まいのコミュニティ全体でまとまって移転地を確保
	個別での移転	現在のコミュニティにこだわらず各々が候補地に移転
移転先の住宅及び土地取得の補助	ローン利子相当補助	戸建住宅の場合は最大800万円、集合住宅の場合は最大400万円程度
	半額補助	新たな住宅・土地取得額の半額程度を補助
	全額補助	新たな住宅・土地取得額を全て補助
移転先の住宅	戸建住宅	土地を含めた分譲住宅を想定
	集合住宅	集合分譲住宅を想定

災害の安全対策のための住宅移転について、各回答者の予定と意向に関する回答結果を表 4-4 に示す。現在すでに移転を予定している回答者は全体の 1 割にも満たない一方で、「いずれ移転したい」も含めると、移転意向を示す回答者は 4 割近くに上ることがわかった。こうした移転をさらに進めるための離散選択モデルによるパラメータの推定結果を表 4-5 に示す。移転条件に関しては、移転のタイミングや課題としても最も大きな要因として挙がっていた費用負担に関するパラメータが最も大きく、全額負担と半額負担との比較でも 4 倍近くの差がみられる。全額負担の際は移転を検討する可能性は大幅に高まる一方で、現在の防災集団移転制度における利子負担相当では、移転促進にある程度限界があることがわかる。その他の移転条件では、戸建住宅であることが影響として大きい一方で、居住地の近くであるか否かはあまり大きな影響要因ではなく、集団移転についても各世帯が移転を検討するうえでは、必ずしも合意形成を促進する要因にならない可能性が示唆された。個人属性では、30 歳未満のほうが移転に対して積極的である一方、60 歳以上は移転検討に消極的であること、同様に単身世帯もまた、子育て世帯と比べて移転に消極的であることがわかる。年齢が高く家族の数が少ないほど、災害にさらされるリスク（余命）が小さいためと考えられ、高所得層のほうが移転に前向きであることも同様の要因であると想定できる。一方、地域差では徳島県や高知県、宮崎県など西日本地域のほうが移転に前向きな傾向がみられる。

表 4-4 回答者の住宅移転予定と移転意向

	項 目	回 答
移転 予定	10年以内に予定している	2.5%
	時期は決まっていないが予定している	5.8%
	予定していない	91.7%
移転 意向	（可能なら）今すぐにでも移転したい	14.9%
	いずれ移転したい	21.6%
	移転したくない	63.5%

表 4-5 パラメータの推定結果

	変数	coef	t値		変数	coef	t値
移転 条件	居住地近く	0.05	1.90 *	海との 位置	移動時に海が見える	-0.10	-2.57 **
	集団移転	-0.15	-5.05 ***		職場から海が見える	0.18	4.09 ***
	費用半額負担	0.40	10.64 ***		全く見えない	-0.16	-3.43 ***
	費用全額負担	1.55	34.51 ***	海との 関わり	海とのかかわりがない	-0.16	-3.17 ***
	戸建住宅	0.54	15.06 ***		散歩などで良く利用	0.09	1.96 **
定数	-1.72	-25.02 ***	地域行事で海と関わり		0.31	7.61 ***	
個人 属性	女性	0.09	2.80 ***	交錯 因子	全額負担*若年層	-0.47	-3.88 ***
	30歳未満	0.58	8.06 ***		全額負担*高齢層	0.23	3.11 ***
	60歳以上	-0.42	-8.20 ***		全額負担*三世代	-0.29	-3.19 ***
	単身世帯	-0.13	-2.15 ***		全額負担*高所得者	-0.20	-2.74 ***
	子育て世帯	0.26	5.46 ***		全額負担*宮崎県	0.46	3.72 ***
	三世代世帯	0.27	4.68 ***		戸建住宅*高所得者	0.17	2.39 **
	所得800以上	0.14	2.33 **		戸建住宅*静岡県	0.12	2.15 **
	徳島県	0.20	4.06 ***		戸建住宅*三重県	0.11	1.98 **
	高知県	0.31	4.90 ***	サンプル数	24,828		
	宮崎県	0.14	1.81 *	自由度調整済み ρ^2	0.169		

海と生活環境との位置関係や海との関わりでは、ふだんから海が見える、または海との関わりが強いほど移転に対して前向きな傾向が確認できた。これは、海が身近であるほど、災害時の危険性を強く認識した結果の表れと解釈することができる。なお、交錯因子の影響では、全額負担条件に対しては、高齢層（60歳以上）が正の、若年層（30歳以下）、三世代世帯、高所得者が負の影響を与えており、個人属性とは逆の結果となっている。これは、移転意識の高い層のほうが費用支援に左右されず移転の検討を行う傾向があるためと考えられる。

以上の検討より、津波災害廃棄物の軽減を目指した立地対策を進めるには、コミュニティや世帯属性に応じたきめ細やかな施策を図る必要があると考えられる。

○ 静岡県西部地域における建築物を対象とした推計

静岡県西部地域では、人口規模の大きい静岡市や浜松市等が含まれており、特に沿岸部では住宅や商業施設等が数多く立地している。ここでは、地震だけではなく、津波からの災害廃棄物の発生が多く予想され、またその後の救助活動や復旧活動に影響すると考えられる静岡県西部地域を対象地域とし、災害廃棄物の発生量を把握するとともに、対策の実施によるロストストック発生量の抑制効果を評価・検討した。

図 4-2 に、2010 年から 2050 年までの対策の有無における地震と津波による災害廃棄物の発生量を示す。対策を実施しない BAU シナリオでは、地震と津波の災害廃棄物発生量の合計は、2010 年で約 4,156.6 万トンとなり、2050 年で約 2,414.7 万トンとなることが分かった。他方、住宅の耐震化に加えて、津波からの撤退を 100%行う対策を実施した場合、2010 年で 3,433.6 万トン（BAU シナリオの 2010 年と比較して約 17%減）、2050 年で約 1,733.6 万トン（BAU シナリオの 2050 年と比較して約 28%減）となった。また、対策の有無における 2010 年と 2050 年の地震と津波による災害廃棄物の空間分布を図 4-3 に示す。対策を実施しない BAU シナリオでは、2050 年にかけて全域で概ね発生量は減少するものの、浸水域内では現状維持ないしは増加する地域も一部ある。他方、耐震シナリオと津波からの撤退を 100%行うシナリオでは、2050 年時点で、BAU シナリオと比較すると全域で災害廃棄物の発生量を大きく軽減でき、さらに発生する地域が内陸の方へ移動していることが分かる。人口及び建築物を浸水域から撤退することにより、津波による災害廃棄物の発生量を軽減することができるだけでなく、撤退先の地域で地震によって災害廃棄物が発生し

た場合でも、浸水域内に災害廃棄物が集中して多く発生しないため、災害直後の救助活動や復旧活動が迅速に進むものと推察される。

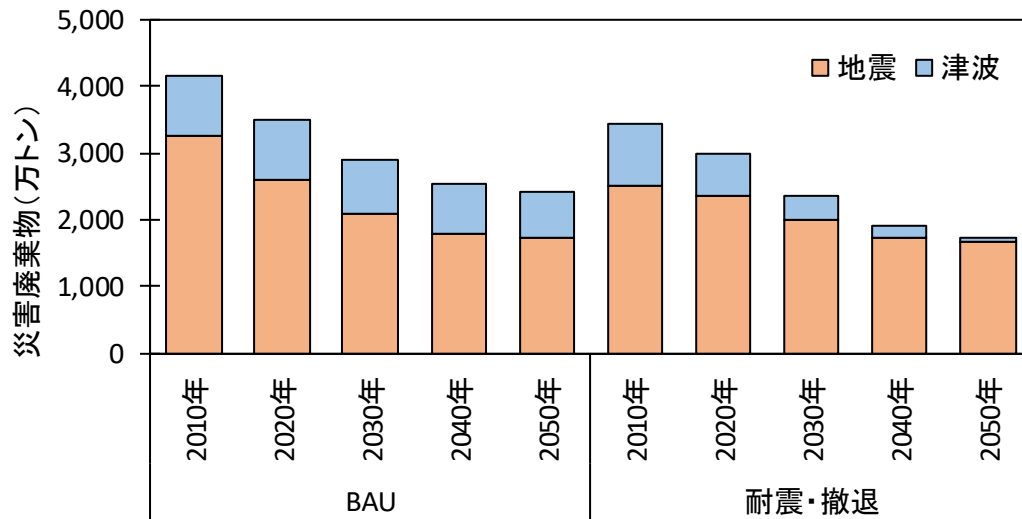


図 4-2 対策有無における地震と津波の災害廃棄物発生量の推計結果

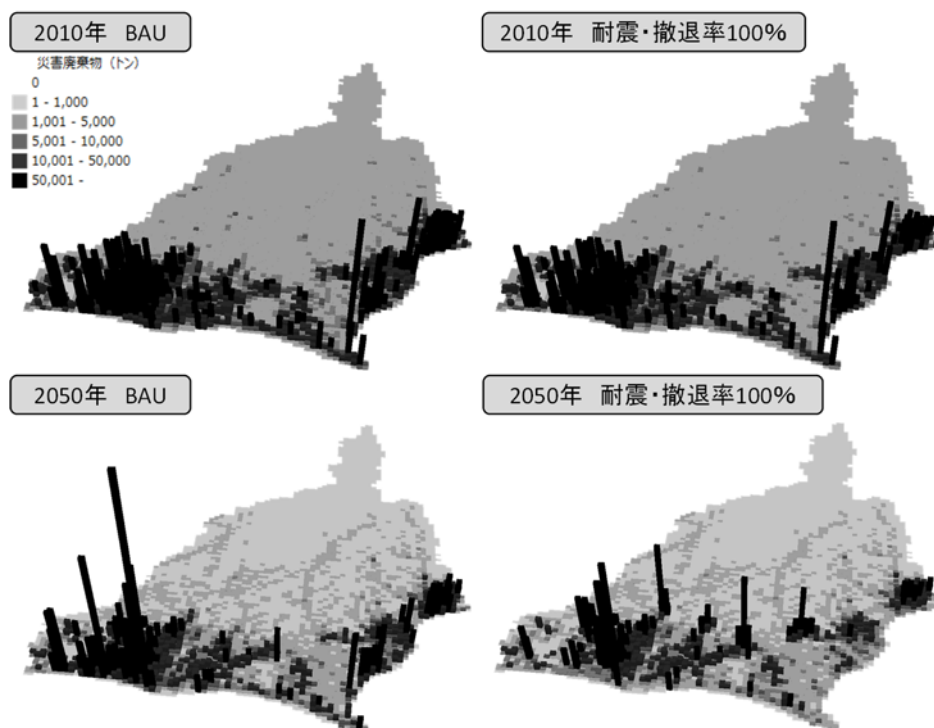


図 4-3 対策有無における 2010 年と 2050 年の地震と津波の災害廃棄物発生量の空間分布

d 三重県における建築物を対象とした推計と防潮施設の機能に関する検討

表 4-6 に、防潮堤の機能別すなわち「堤防健全」と「堤防破壊」場合の推計結果を示す。なお、堤防健全とは発災後でも防潮施設が機能する場合であり、堤防破壊とは発災後に防潮施設が機能しない場合である。

この結果、三重県全体では防潮堤の機能した「堤防健全」は棟数、建築面積、延床面積の場合において「堤防破壊」と比較すると、およそ5割強程度であることがわかった。続いて、表4-7に、防潮堤の機能別におけるロストストック発生量を人口集中地区とそれ以外で分けた結果を示す。この結果、ロストストック発生量は「堤防健全」と「堤防破壊」のそれぞれにおいて7,133千トンと18,521千トンとなり、「堤防破壊」の場合は「堤防健全」の場合の2.6倍となることがわかった。また、人口集中地区の発生量の割合は、「堤防健全」の場合は全体（人口集中地区とそれ以外における発生量の合計）の26%であるのに対し、「堤防破壊」の場合は全体の41%となり、「堤防破壊」が起こればロストストックの多くが人口集中地区で発生することがわかった。

表4-6 防潮堤の機能別の推計結果

	棟数（一棟）		建築面積（千㎡）		延床面積（千㎡）	
	堤防健全	堤防破壊	堤防健全	堤防破壊	堤防健全	堤防破壊
戸建住宅	86,268	152,062	9,012	16,804	18,025	33,608
集合住宅	1,840	3,968	359	797	1,193	2,663
宿泊施設	120	156	73	111	312	571
商業施設	128	238	225	361	514	833
学校	173	382	168	381	673	1,537
余暇・レジャー	55	255	64	202	164	455
目標物	560	1,232	737	1,804	1,878	4,811
公共施設	139	209	65	126	178	343
医療	220	428	52	130	118	472
交通	46	76	29	48	66	105
その他	240	458	61	105	131	222
合計	89,789	159,464	10,845	20,870	23,251	45,620

表4-7 防潮堤の機能別におけるロストストック発生量

	人口集中地区（千トン）		人口集中地区以外（千トン）	
	堤防健全	堤防破壊	堤防健全	堤防破壊
戸建住宅	768	2,159	2,863	5,012
集合住宅	222	846	365	593
宿泊施設	35	59	303	493
商業施設	48	216	76	179
学校	341	2,573	993	3,141
余暇・レジャー	0	41	118	285
目標物	361	1,264	397	988
公共施設	13	93	61	97
医療	19	229	36	75
交通	9	28	38	39
その他	15	36	53	76
合計	1,831	7,544	5,302	10,977

図4-4に、防潮堤の機能別におけるロストストック発生量の空間分布を示す。この結果から、津市などの北部地域において「堤防破壊」すると水害由来のロストストックが増加することが懸念される。三重県では、沿岸部総延長は1,088kmであり、防潮施設で管理されている区域は527kmに達する¹⁾。しかしながら、

防潮施設の大部分が建築後 50 年以上を経過しており、老朽化や地盤沈下による機能低下が進んでいる。そのため、大規模自然災害が発災した際に、防潮施設が本来持つ機能を発揮することができないおそれがある。以上の結果から、防潮施設の改修を行うことで地震や津波に対するレジリエンスを確保することは、特に沿岸地域での廃棄物の大幅な発生抑制の観点から極めて重要である。

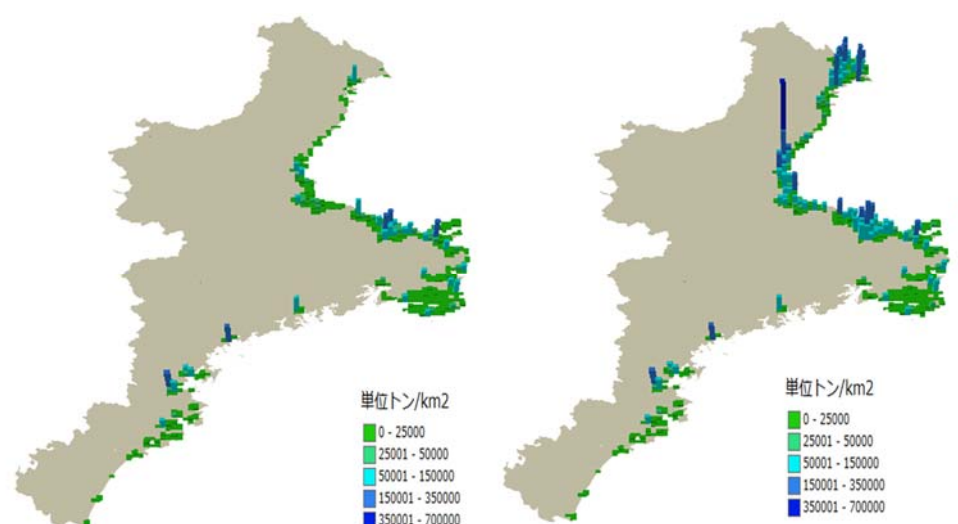


図 4-4 防潮堤の機能別におけるロストストック発生量の空間分布
(左：堤防健全、右：堤防破壊)

2) 耐久消費財の蓄積量およびロストストックの推計手法の検討

a 家庭の耐久消費財の蓄積量の推計

表 4-8 に、耐久消費財別の質量原単位データベースの作成結果を示す。耐久消費財の種類により、商品情報の量が異なるため、種類別でサンプル数に差がある。また、耐久消費財の種類によっては標準偏差が大きい結果となった。これは、テレビを例にすると、メーカー間あるいは同一メーカー内で複数のテレビが製造・販売されており、インチ数や仕様によってそれぞれの製品質量に違いがあることが一因である。同じテレビでも、製品ごとに質量のばらつきがあることは避けられない。これが、耐久消費財由来のロストストック発生量にも影響してくると思われる。本研究ではこれを踏まえ、中央値および四分位数を用いて質量の幅を考慮した推計を行う。

質量原単位データベースを用いて、全国平均での 1 世帯あたりの耐久消費財所有量を試算する。ここでは、平成 21 年全国消費実態調査に掲載されている全国全世帯の 1,000 世帯あたり品目別耐久消費財保有数量をもとに、1 世帯あたりのストック量を推計した。全国平均値を用いて計算した結果を表 4-9 に示す。1 世帯あたり耐久消費財保有量は、中央値で約 2.0t、四分位数の幅では約 1.5～約 2.5t となった。耐久消費財のうち保有量の大きさ順で比べると、上位 5 品目は、自動車、ルームエアコン、冷蔵庫、洗濯機、テレビ(薄型テレビ、カラーテレビ)で、保有量全体の約 95.4%(中央値)を占めていることがわかった。自動車は、他の耐久消費財に比べて圧倒的に重い。また、自動車を除いた場合、耐久消費財に占める特定廃家電の割合は約 74.3%(中央値)となった。特定廃家電も、耐久消費財の中で大きな割合を占めていることがわかる。

表 4-8 耐久消費財の質量原単位データベース

	サンプル数	平均値 [kg/台]	標準偏差	中央値 [kg/台]	25%四分位数 [kg/台]	75%四分位数 [kg/台]
給湯器	105	25.65	8.43	27.00	18.00	30.00
温水洗浄便座	37	4.51	0.72	4.20	4.00	5.00
電子レンジ	102	17.59	9.51	15.00	12.25	20.00
自動炊飯器	230	6.27	3.40	5.85	3.90	7.30
IHクッキングヒーター	93	16.81	9.23	19.50	7.00	24.50
冷蔵庫	340	63.81	31.50	61.00	36.00	89.00
電気掃除機	84	5.55	1.60	5.10	4.40	6.50
食器洗い機	46	5.48	1.21	5.50	5.00	6.00
洗濯機	177	51.19	22.15	43.00	34.00	77.00
ルームエアコン	277	42.17	12.77	44.00	33.50	52.00
電気マッサージチェア	41	69.00	14.83	75.00	59.00	79.00
自動車	421	1,453	410	1,450	1,110	1,750
薄型テレビ	332	15.72	13.44	13.25	5.16	22.43
カラーテレビ	57	41.45	22.36	38.60	23.50	52.90
ビデオレコーダー	73	29.97	12.00	27.00	23.00	33.00
パソコン	226	4.57	3.32	2.50	2.02	7.18
カメラ	200	0.39	0.24	0.29	0.22	0.52
電動ミシン	57	7.24	2.13	7.00	5.70	8.00

表 4-9 1世帯あたりの耐久消費財保有量(全国平均値)

	所有数量 [台/世帯]	保有量[kg/世帯]		
		中央値	25%四分位数	75%四分位数
給湯器	0.53	14.42	9.61	16.02
温水洗浄便座	0.75	3.15	3.00	3.75
電子レンジ	1.00	14.99	12.24	19.98
自動炊飯器	0.86	5.04	3.36	6.29
IHクッキングヒーター	0.16	3.14	1.13	3.94
冷蔵庫	1.18	71.68	42.30	104.58
電気掃除機	1.29	6.56	5.66	8.37
食器洗い機	0.21	1.17	1.06	1.27
洗濯機	1.06	45.41	35.90	81.31
ルームエアコン	2.13	93.59	71.25	110.60
電気マッサージチェア	0.14	10.58	8.32	11.14
自動車	1.13	1,633	1,250	1,971
薄型テレビ	0.76	10.06	3.92	17.02
カラーテレビ	1.17	45.01	27.40	61.68
ビデオレコーダー	0.97	26.22	22.33	32.04
パソコン	0.99	2.47	2.00	7.09
カメラ	1.15	0.33	0.25	0.59
電動ミシン	0.53	3.74	3.04	4.27
合計	-	1,990	1,503	2,460

本研究で作成した質量原単位は、一部の耐久消費財を除いて、2014 年時点に販売されているものが大多数である。これに対し、一般家庭が保有する製品は購入時期が新しいものと限らない。そこで質量原単位データベースがロスストック発生量の推計に使用に耐えるかどうか、その妥当性を検証する必要がある。ここでは、新潟県中越地震(2004 年)を事例として、災害廃棄物発生量の実績値と本研究の推計結果との比較を行う。新潟県中越地震では、長岡市における特定廃家電の被災状況が実績値として公表されている^{2,3)}。資料によると、特定廃家電の発生量は 440t であり、うち、テレビは 2,604 台、冷蔵庫が 3,151 台、洗濯機が 1,702 台、エアコンが 2,471 台であった。この発生台数に、質量原単位データベースの数値を乗じることによって特定廃家電の発生量を推計した。なお、テレビについては、平成 21 年全国消費実態調査でのカラーテレビと薄型テレビの保有台数の割合(それぞれ 61%、39%)を算出し、それぞれの割合をテレビの台数に乘じた。結果を図 4-5 に示す。結果として、推計結果は約 296～約 646t(中央値は約 449t)となり、実績値と中

中央値は比較的近い数値となった。このことから、家庭内に蓄積されている耐久消費財が被災により失われ、且つすべて災害廃棄物となった場合、本研究で作成した質量原単位データベースの妥当性は高いといえる。

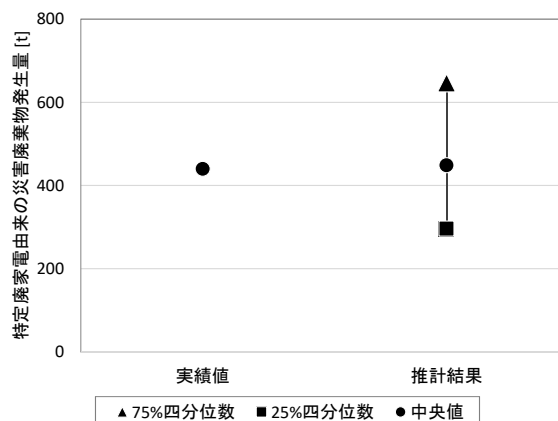


図 4-5 実績値と推計結果の比較

b 耐久消費財由来のロストストック発生量の推計

南海トラフ巨大地震の被害想定地域を対象として、作成したデータベースや統計資料をもとに地域別の世帯数と耐久消費財保有数量を算出した。これに内閣府や地方公共団体の被害種類(揺れ、津波等)別の全壊棟数の情報を乗じることで、地域別のロストストック発生量を推計する。なお、建物被害には全壊以外にも半壊や一部損壊もあり、これらの被害についてもロストストック量を推計すべきではある。しかしながら、建物被害の程度によっては、建物内部にある耐久消費財はまだ使用できるものもあるため、どの程度の被害でどれくらいの割合の耐久消費財ストックが失われるかを検討することは、極めて困難である。そこで本項では、全壊した場合は、建物内部や周辺にある耐久消費財も破壊されると想定して、全壊の場合のみでの検討を行った。

図 4-6 に、東海・近畿地方の耐久消費財由来のロストストック発生量の推計結果を示す。中央防災会議⁴⁾の近畿地方が大きく被災するケース(地震動：基本ケース、津波ケース③、冬深夜、平均風速)の結果を用いて推計を行った。その結果、最も耐久消費財由来のロストストック発生量が多くなる地域は静岡県で、約 630～約 1,020 千 t(中央値で約 830 千 t)となることが示された。2012 年度における静岡県のごみ総排出量は約 1,123 千 t⁵⁾であり、中央値でみると、静岡県のごみ総排出量の約 74%を占めるだけの膨大な量であることが伺える。次いで発生量が多かったのは愛知県(約 340～約 550 千 t)であり、三重県(約 250～約 410 千 t)、和歌山県(約 300～約 490 千 t)が続いている。

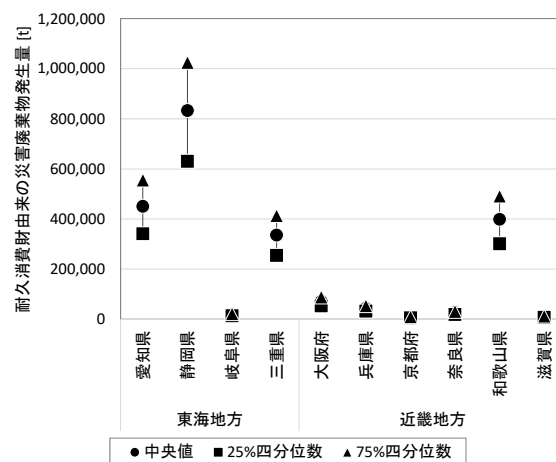


図 4-6 耐久消費財由来のロストストック発生量の推計結果

(近畿地方が大きく被災するケース(地震動：基本ケース、津波ケース③、冬深夜、平均風速)の場合⁴⁾)

なお、中央防災会議の被害想定地域に含まれている東海・近畿地方以外の地域でも、同様の方法を用いて推計を行った結果、耐久消費財由来のロストストック発生量は約 2,490～約 4,060 千 t となった。環境省⁵⁾が内閣府の地震動や津波浸水深などのハザード情報を用いて推計した結果では、約 270 百万 t のロストストックが発生するとしている(近畿地方が大きく被災するケース(地震動は基本ケース、火災(最小)、冬深夜、平均風速)の場合)。耐久消費財由来のロストストック量は、環境省の推計結果の 0.92～1.50%であった。割合は小さいとはいえ、発生量自体が大きいことに変わりはない。ちなみに、特定廃家電のみに着目した場合の発生量は約 297～約 484 千 t であり、その割合は上述した環境省の推計結果の 0.11～0.18%である。新潟県中越地震では、長岡市における解体系災害廃棄物搬入量と特定廃家電の割合は 0.30%であった²⁾。本研究の結果は中越地震の結果と比較すると半分程度の割合に留まっている。要因の 1 つとしては、本研究の推計は全壊のみ対象としていることが挙げられる。

同様の方法を用いて神戸市でのロストストック発生量を推計し、地理情報システムでマッピングした結果を図 4-7 に示す。ここでは、兵庫県⁶⁾の被害想定(津波は冬夕方 18 時想定)を用いて推計した。神戸市全体での発生量は約 18～約 30 千 t(中央値は約 24 千 t)であり、うち約 30%は同市西区で発生することが示唆された。

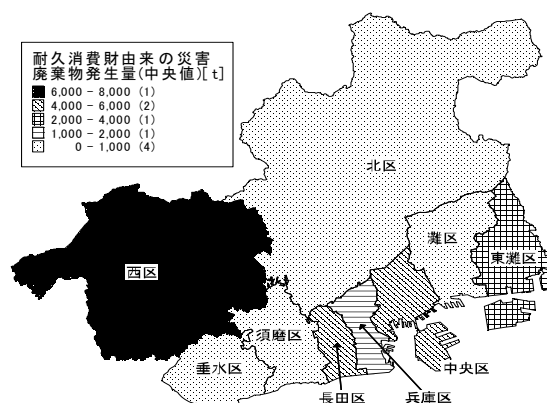


図 4-7 神戸市における耐久消費財由来のロストストック発生量の推計結果(津波は冬夕方 18 時想定⁷⁾)

続いて、特定廃家電の発生量に着目した分析を行う。特定廃家電を対象とした理由は、地域毎に家電リサイクル工場が整備されており、リサイクルを検討した場合にリサイクルルートが比較的容易であると考えたためである。各耐久消費財のロストストック発生台数は、被害世帯数に、1世帯あたり耐久消費財所有数量の割合を乗じることで推計できる。また、各耐久消費財の発生量は、上述のロストストック発生量の推計結果に、それぞれの耐久消費財の保有量の割合を乗じることで推計できる。ロストストックは全て災害廃棄物に転換されると仮定し、東海・近畿地方における、災害廃棄物としての特定廃家電の発生台数と発生量を推計した結果が図 4-8 である。発生台数別でみると、ルームエアコンが最も多く、次いでテレビ(薄型+ブラウン管)が多い。発生量でみても、最も大きいのはルームエアコンである。これら特定廃家電を合計すると、発生台数は約 6.3 百万台、発生量は中央値で約 263 千 t となった。これは、近畿地方における主要な家電リサイクル工場である A 社の 2013 年における特定廃家電の処理量約 0.9 百万台の、約 7 倍に相当する値である。上記の試算は、被災した特定廃家電全てが家電リサイクル法ルートで処理できた場合を想定した場合であり、実際には被害の程度によっては家電リサイクル工場に回せない家電も発生する。しかしながら、南海トラフ巨大地震の発生により、東海・近畿地方だけでこれだけの規模の廃家電が発生するという事は、通常の家電リサイクル工場での処理・リサイクルに支障をきたす可能性が高く、その影響は甚大であることが予想される。そのため、発災前の時点から、仮置場の選定やリサイクル工場の処理余力の調査等を実施し、具体的なリサイクル計画を定めておく必要がある。

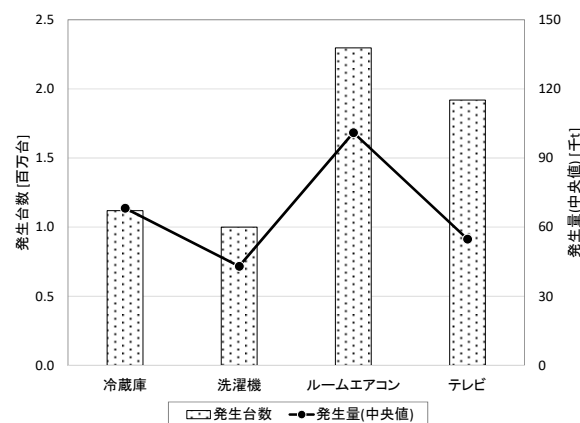


図 4-8 東海・近畿地方における災害廃棄物としての特定廃家電の発生台数と発生量

(2) 自然資本ロストストック発生量予測とその対策

1) 森林資源のロストストックおよび価値評価

図 4-9、図 4-10 に、地震、津波に伴う森林資源のロストストックの面積の算出結果を示す。損失が発生する森林資源の面積は、地震では 0.42km²、津波では 79.86km²となった。地震の場合は、内陸部より沿岸部における被害が大きい。三重県の森林面積は 3,720km²であり、これを踏まえると、地震・津波により想定される森林資源の被害は、三重県の森林面積の約 2.2%に相当することがわかった。なお、東日本大震災に伴い宮城県で失われた森林資源の面積は、宮城県の森林面積の約 0.1%であった。これに比べると、三重県での被害は約 22 倍大きいことが伺える。宮城県での被害は、数字上は少なく見えるものの、約 0.1%といえ

ども無視できない損失面積であることが議論されている。これを踏まえると、三重県で想定される被害は、相当に大きいことが伺える。

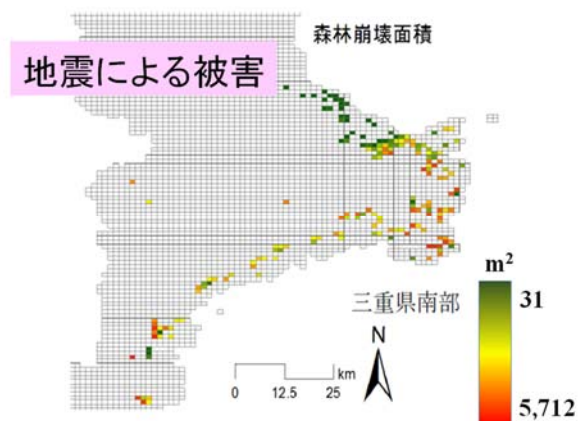


図 4-9 地震による森林資源のロストストック

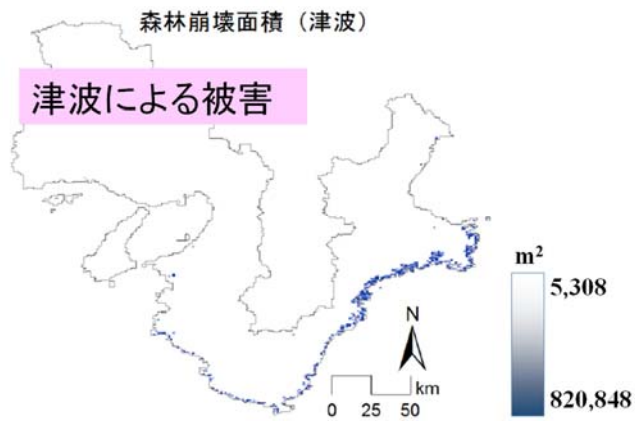


図 4-10 津波による森林資源のロストストック

続いて、シングルバウンド CVM によるシンプルモデルの結果は表 4-10 のように得られた。ここから推定される森林 1ha の価値は約 2、690 円と計算される。以下は粗い試算になるが、東日本大震災による直接的な森林被害は宮城県において 220ha、復興過程の高台移転による森林減少は 103.7ha と見込まれている（農林水産省および復興庁資料）。東日本大震災と同等の森林被害が三重県（約 60 万世帯）において発生したとすると、震災による直接被害額は 3550 億円、復興過程における被害額は 1673 億円にのぼると推定される。これらもストック被害の一種であり、震災被害および復興評価の際には考慮される必要がある。

表 4-10 CVM シンプルモデル推定結果

	Coef.	Std.Err.	t-value
ln (bid)	-0.42***	0.05	-7.86
const	3.30***	0.37	8.81
Number of obs	5602		
Log likelihood	-3758.24		
LR chi2	62.78***		
Pseudo R2	0.01		

しかしこうした評価は全体としての傾向であり、実際には評価値は住民ごと、地域ごとに異なる。その点について、まず職業ごとの差異について分析した。森林資源を自身の生活にどのように関わっているかが大きく影響すると考えられるためである。表 4-11 が示すとおり、職業として農林業に関わっているものについて、やはり自然資本が高く評価されている事がわかる。このことは、農林業が相対的に大きいシェアを占める地域においては、自然資本被害は大きな影響をもっており、復興プロセスにおいても一層の配慮が必要であることを意味する。こうした事実を踏まえて、様々な支払意思額(WTP)の規定要因について、ステップワイズで回帰変数を除去していった結果、森林原単位の規定要因として表 4-12 が得られた。

表 4-11 職業別の森林資源原単位評価

職業別	原単位 WTP	サンプルサイズ
自営・農林漁業	4023.4	32
自営・商工サービス業	3000.0	188
会社員	2997.4	1024
公務員	2460.6	113
非正規雇用	1945.5	507
学生	2914.9	87
主婦・主夫	2252.7	544
退職	2955.9	110
無職	2290.6	217

表 4-12 社会経済属性、立地属性森林資源の原単位評価

WTP(被説明変数)	Coef.	Std. Err.	t
自営・農林漁業	1290.54	661.1292	1.95
公務員	-836.674	366.7564	-2.28
年収	1.80346	0.266398	6.77
年齢	-209.255	39.89261	-5.25
年齢の2乗	2.311621	0.432826	5.34
同居人数	88.6325	60.68924	1.46
居住年数	-8.84749	5.602303	-1.58
社宅・寮	856.6667	481.6246	1.78
持家戸建	321.978	162.0388	1.99
重視する機能(木材供給)	898.2657	241.8366	3.71
重視する機能(景観)	-668.562	335.191	-1.99
緑量に不満	-572.647	188.4746	-3.04
自然体験重視を重視しない	-997.542	545.973	-1.83
自然環境満足度	-112.49	41.83938	-2.69
総合的生活満足度	227.5733	53.48303	4.26
森林問題(ゴミ)	546.9476	266.1235	2.06
地域に森林が無い	-582.549	212.2467	-2.74
森林には問題が無い	-1017.38	181.0553	-5.62
_cons	5880.141	939.8597	6.26
サンプルサイズ	2844		
Adj R-squared	0.07		

平均 WTP=2597.18 円

自然環境に対する WTP は所得の影響を大きく受けることは他の先行研究と同様であったが、本研究では職業（農林漁業）や森林資源の現状・認識といった要因も見られた。これらは地域差として考慮すべき要因であり、被災予測を経済価値で評価するときに考慮する必要がある。

こうした回帰分析に基づいて、地域ごとの原単位価値が評価された。この結果は、災害予測に基づく森林の喪失量に掛け合わせることによって自然資本の損失の経済評価を可能にする。自然資本の多大な損失が計算される地域については被災回避対策をより重視することが効果的となる。本結果を受けて、大きな被害が予想される三重県について、地域ごとの評価に向けた震災による土地利用変化の地理情報システム (GIS) データとしてまとめる。まず、表 4-12 にまとめられた係数を持ちいて、市町村データを使いながら、各地域の森林損失原単位を計算する (表 4-13)。

表 4-13 三重県における市町村別森林原単位

	WTP(1haあたり, 世帯あたり, 円)	WTP(1haあたり, 円)
三重県津市	358.1	41067376.6
三重県四日市市	361.7	46413222.1
三重県伊勢市	305.8	15578947.5
三重県松阪市	324.8	20767624.4
三重県桑名市	370.6	19914436.2
三重県鈴鹿市	347.7	27021930.0
三重県名張市	203.7	6232330.2
三重県尾鷲市	407.1	3525768.8
三重県亀山市	316.2	6306284.4
三重県鳥羽市	354.8	2742615.5
三重県熊野市	427.5	3484771.6
三重県いなべ市	322.7	5520192.5
三重県志摩市	357.8	7177390.7
三重県伊賀市	208.9	7030613.6
三重県東員町	370.1	3280068.8
三重県菰野町	335.9	4844398.5
三重県朝日町	339.2	1306751.8
三重県川越町	337.3	2031821.0
三重県多気町	323.9	1671402.5
三重県玉城町	306.8	1613525.6
三重県紀北町	438.8	3189421.7
三重県紀宝町	346.0	1711613.9

次に、その金額に、ハザードマップ等から予測される森林被害を乗じることによって、震災発生による自然資本の損失を予測する。ここでは、震災による森林被害について、南海トラフ地震の発生を想定し、地震による被害面積と津波による被害面積をそれぞれ求めたデータを用いた。その結果は図 4-11 および図 4-12 にまとめられる。これらの結果が示すように、沿岸部における被害が多く認められる。特に津波による森林被害は三重県の南部において高い値が示されている。森林資源は復興プロセスにおいても必要とされる投入物になりうるため、自然資源の被害がどこで発生するかについても考慮して置くことは、被害規模の認識だけでなく、復興資源の確保を考える際にも有用である。

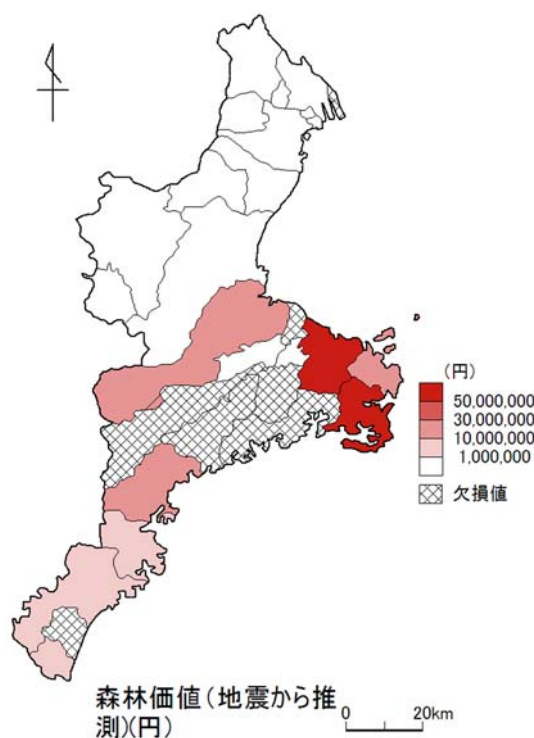


図 4-11 地震による森林資源損失額

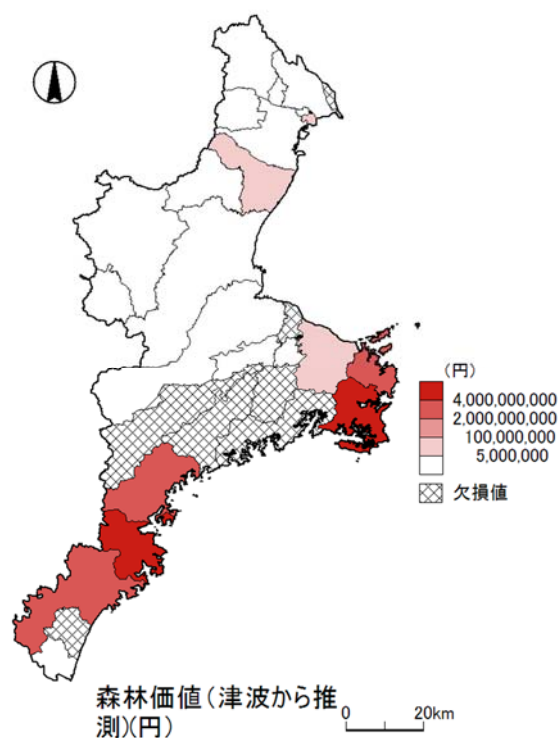


図 4-12 津波による森林資源損失額

2) コンジョイント分析によるリスク選好と自然資本の価値

コンジョイント分析は、住民が災害防止と自然生態系の保全という両立するとは限らない 2 つの機能について、自然資本としての森林を対象とした選好パラメータの推定に用いられた。ここでは浸水リスクの削減を評価すると同時に、森林のもつ生態系保全機能に着目し、沿岸部に森林を配置することによって災害リスクを削減するケースと、堤防を配置することによって災害リスクを削減するケースについて評価した。その結果は表 4-14 のようにまとめられる。浸水リスク (Risk) の符号および建設コスト (Cost) の符号が有意に負であることは、経済理論の想定に整合的である。すなわち、浸水リスクは低いほど、そして建設コストは低いほど効用が高いということである。代替率の分析より、1 % のリスク削減のためにはおよそ 34.5 万円の支払意思が認められることが読み取れる。

表 4-14 コンジョイント分析推定結果

	Coef.	Std.Err.	t-value
Risk	-0.0069***	0.0005	-13.98
Natural	0.3944***	0.02390	16.51
Middle	0.4026***	0.0240	16.79
Cost	-0.0002***	0.0000	-22.34
Nochoice	-0.4757***	0.0432	-11.00
Number of obs	112040		
Log likelihood	-37406.751		
Wald chi2	1261.46***		
Pseudo R2	0.0367		

そのうえで、森林の生態系保全機能について考慮する。ここで堤防のタイプとして、(1)人工構造物によるもの、(2)森林を配置することによるもの、(3) その中間的なもの、の3つを想定する。表 4-14 は、(1)人工構造物型が負の符号を、(2)自然型が正の符号をとっている。これは、他の条件にして一定ならば、自然生態系を損なわないタイプが望まれていることを示す。生態系保全型にするためには、建設コストに対して 1972 万円の追加的支払意思が読み取れる。また、生態系保全型あるいは生態保全と人工構造物の中間型にすることに対してはおおよそ同等の評価が行われていることがわかる。ここから読み取れることは、自然環境の保全を行うためにはおよそ 58%程度浸水リスクが高まっても等価であることがわかる。逆に、人工構造物型の防潮堤で自然破壊を伴う場合には 58%以上のリスク削減が実現できることが受け入れられる要件とも言える。

この分析より、防潮堤建設に対する住民選好あるいは住民のニーズに関する情報が得られた。現在、津波リスク対策が喫緊の課題となっている一方で、自然環境との調和が求められている。こうしたリスク対策と環境対策の総合的な環境政策を立案するときには、科学的知見のみならず住民の選好も勘案されるべきことを考えると、本研究結果は政策立案過程に有意な知見が含まれており、地理的分布や社会条件などを踏まえたさらなる分析は政策研究に貢献する。

南海トラフ地震の対策には自然資本への配慮も求められることが示唆された。阪神淡路大震災や東日本大震災においては人工資本ストックの被害ならびにその回復に焦点が限られがちであったが、自然資本ストックの動向把握と保全も重要である。本研究では南海トラフ地震の影響が予定される地域において、住民のリスク選好とともに自然資本ストックに対する評価に関する情報を収集した。この情報は、災害対策に対して災害リスクと環境評価の観点からの住民ニーズを知るうえでの基礎的な資料となる。

3) 防災対策と住民の意識

本分析のような将来起こりうる災害による自然資本の被害額を推定することは、事前対策を考案する際に有用である一方で、発生時点が不確定であることによる価値評価の影響がある。つまり、自然資本の価値評価の基礎を住民の選好に置くかぎり、住民自身の状況変化の影響を免れない。たとえば本研究で行った森林の住民の原単位評価について、住民の大きな地震を経験した時点からの経過年数によって評価値を調査すると、表 4-15 のようになった。

表 4-15 地震経験からの年月と WTP

地震経験	WTP	サンプルサイズ
1年未満	7828.6	7
～5年未満	3357.1	120
～10年未満	2774.4	135
10年以上	2470.7	1502

表 4-15 が示唆するとおり、被災経験からの時間が短いほど、高い評価値がつけられる傾向が見て取れる。これは森林資源のもつ機能として減災機能を調査対象者の半数以上がもっとも重要と認識していた調査結果と合致し、被災が予想される地域ほど森林資源の原単位は高く評価されることになる。

つまり震災直後には高く評価されている防災機能も、時間が経つにつれて価値が見出されにくくなる傾向にある。これはインパクトバイアスと焦点化という心理メカニズムによって説明される。Noda²⁾は、将来起こり得る巨大地震を焦点化させると防災行動の動機付けが強くなることを示した。本調査では、こうした影響を確認するために、焦点化としての防災行動喚起政策の効果や動機づけの持続性を分析した。これに基づいて、震災に関連して生じる自然資本の減耗が、どのような要因によって注目されるかについて考察される。

本研究で実施した社会調査では、震災の被害にあったことがあるか等の自己経験に関するパーソナルデータや、ベースライン感情の評定4項目(気分が悪い、不安な、恐ろしい、驚き)9段階評価、初期時点における防災意識についての7項目5段階評価¹⁾を調査した。次に、焦点化の条件操作を行うためA、B、Cの3つのグループに分かれ、Aを対象群とし、BおよびCを実験群として、BグループにはNoda²⁾と同様に記述による焦点化を行い、Cグループには独自の方法で映像による焦点化を行った後に、震災時の状況評価を行った。そして表2から示唆される持続性を測るために、無作為に1週間後と1ヶ月後を割り当てて状況評価を行った。

第一に、焦点化の方法について、映像による焦点化がもっとも震災時の影響を深刻に考えるように促す作用があるとともに、その評価が持続性することが示された(図4-13)。本調査結果から、震災影響のインパクトは時間とともに減少することが示され、こうしたことは喪失することの価値評価にも影響することが示唆される。そのため、失われるストックの評価についてもどの時点での喪失かによって大きく評価は異なることが予想される。とくに震災発生までの時間的間隔が大きい時には、その損害評価が軽くなる傾向にあり、震災対策の実施に対して保守的になりうる。しかし確実に起こる災害に対して防災行動は重要であり、コストを掛けてでも事前対策を必要とする場合には、焦点化の方法に工夫することで、住民やコミュニティの合意が取りやすくなると考えられる。

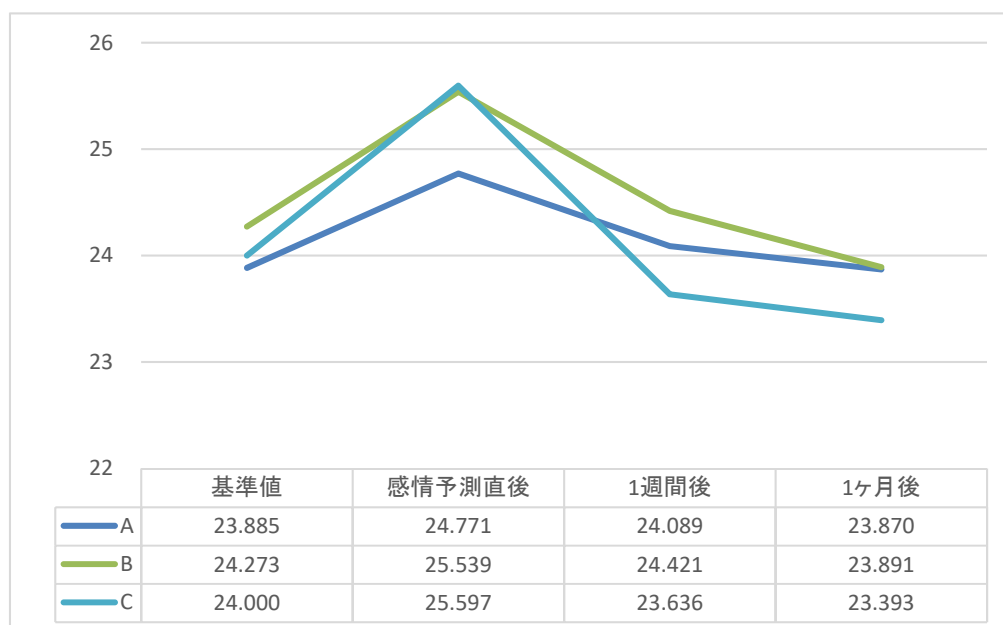


図 4-13 動機付けの方法と評価の持続性

住民の認知プロセスの分析を防災に応用するという研究は、東日本大震災以降再度見直されたものであるが、研究蓄積が不足している。そうしたなかで本研究は、心理学的方法を用いて震災に対する認知プロセスを分析するデータを集めたものである。特にこうした研究は、東日本大震災や今後予想される南海トラフ地震といった巨大災害に直面している日本における研究が重要となると考えられるため、災害研究に関する心理学的分析として一つの結果を提示するものである。

東日本大震災から約 6 年を経て、防災意識は次第に薄れてきている一方で、南海トラフ地震への対策はますます重要になってきている。防災インフラや、各種資本の管理など政策主導の対策を進めることはいうまでもなく重要であるが、東日本大震災の経験を踏まえれば住民主導の対策も欠かすことはできない。コミュニティの機能増強などの点に加えて、住民の防災意識の涵養はそうした意味で有効な防災施策に繋がる。本調査結果は、住民主導の防災対策を促進するための要点を提供するものであり、実践的含意を持つものである。

（３）災害廃棄物処理システムの環境的・経済的評価方法の開発

１）津波被害を考慮した災害廃棄物収集量の推計

津波被害地域における各自治体の津波到達距離、津波到達地点の傾斜角度、津波の高さについての三軸散布図を図 4-14 に示す。結果として、三軸散布図について各自治体を分類すると①津波到達距離が長い傾向の自治体（宮城県仙台市、宮城県岩沼市、宮城県亘理町）、②③つの要素に関してすべて小さい自治体、③津波到達地点の傾斜角度が大きい傾向のある自治体（岩手県釜石市、岩手県大槌町、宮城県南三陸町）に分けた。この散布図を基に、災害廃棄物と津波堆積物の発生量の推計値と実測値とのズレとの関係性を検討したが、明確な関係性はみられなかった。続いて、津波被害地域における各自治体の地形の特徴と災害廃棄物量に対する木くずの割合についての三軸散布図を図 4-15 に示す。津波被害地域において、傾斜角度が小さく、到達距離が長い①の場合に木くずの割合が大きくなる傾向がみられた。また、傾斜角度と津波高さが大きい②の場合に、木くずの割合が小さくなる傾向が見られた。これはコンクリートがら等と比較して軽い木くずが引き波により流されたからであると考えられる。

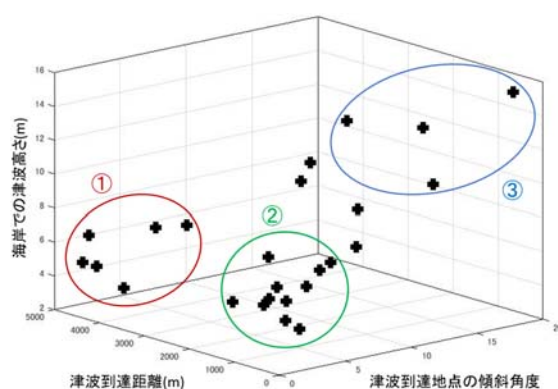


図 4-14 津波被害地形の三軸散布図

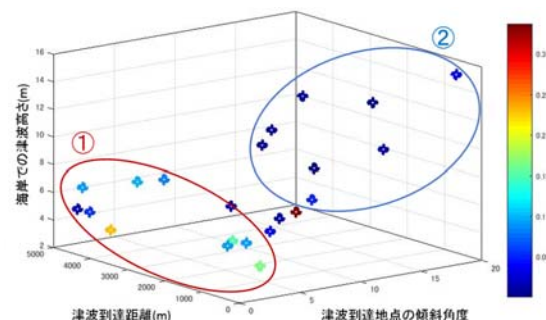


図 4-15 津波被害地形と木くずの割合の関係

次に、津波によって流出した棟数を被害棟数と流出棟数で除したものを流出家屋の被害割合とし、災害廃棄物中の木くずを含んだ可燃物の割合との関係性を求めた結果を、図 4-16 に示す。流出家屋の被害割合は 1 に近いほど被害を受けた家屋の多くが津波により流出していることを示している。可燃物（木くず含む）

の割合は津波被害なしの自治体では 0.26（4 自治体平均）であり、津波被害ありの自治体では 0.21（家屋流出 0.2 以上の 21 自治体平均）であった。流出家屋の割合が高いと可燃物（木くず）の割合が低下することにより、木くず等の可燃物が津波によって海洋に流出していることが予想される。近似式より各流出家屋被害割合における可燃物比率の算出が可能であり、被害割合 0 の場合 0.242、被害割合 1 の場合 0.134 である。この比率より、津波の被害を 100% 受けた場合、被害が無い場合に比べて可燃物の比率が約 55% 減少することが分かる。木くずなどの可燃物は津波の被害を受けることで、推計値の約 50% が海洋に流出する又は他の廃棄物と混合することから木くずとして分離が不可能な状態となることが予想される。

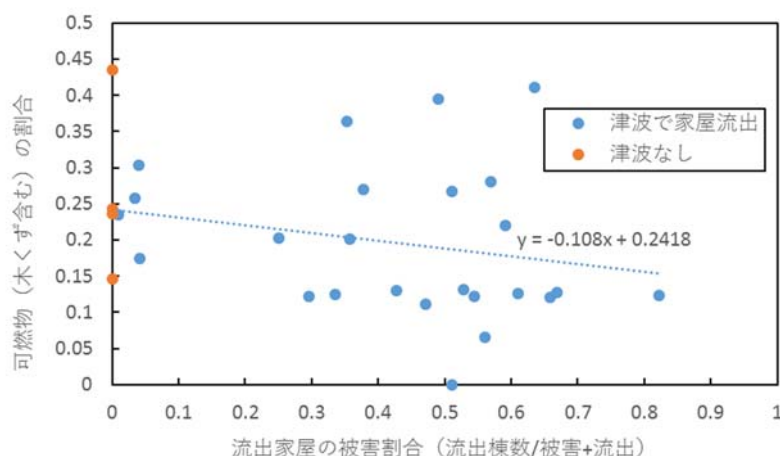


図 4-16 流出家屋の被害と可燃物の関係

鶴巻¹⁾は 2011 年 8 月に発生した和歌山県豪雨災害で災害廃棄物発生量の推計を行っているが、自治体による収集量は災害廃棄物発生量の推計結果の 5～6 割程度であったことを明らかにしており、既往研究とおおよそ一致がみられた。災害廃棄物の種類にもよるものの、津波被害が予測される自治体では、木くずのような比較的軽量の廃棄物の収集量を推計する場合、当初の推計値を 0.5～0.6 掛けすることでおおよその収集量を推計することができると考えられる。

2) 災害廃棄物処理データベースの構築

a 発災からの時間変化を考慮した災害廃棄物の発生量・組成に関する実態調査

東日本大震災において被災した各自治体の震度、住家の全壊棟数と災害廃棄物の発生量の関係について、93 自治体から情報提供を受け、更に 53 自治体が発行している東日本大震災に関する記録誌を参考に整理したものを図 4-17 に示す。左図が震度と災害廃棄物発生量の関係を右図が住家被害と災害廃棄物発生量を示している。震度との関係では、津波被害ありが津波被害なしに比べて同程度の震度であっても災害廃棄物発生量が多くなっていることが分かる。ここで示している災害廃棄物とは津波堆積物を含んでいない。このことより、津波被害を受けると同程度の震度であっても建物等への被害が大きくなり、結果として災害廃棄物が多く発生することが予想される。次に、住家の全壊棟数と災害廃棄物発生量の関係では、被害棟数が少ない自治体では災害廃棄物量にばらつきが見られるが、被害棟数が多い自治体では津波被害に関係なく収束している傾向が見られる。津波の有無に関係なく住家被害棟数と災害廃棄物発生量が推計できることが分かった。

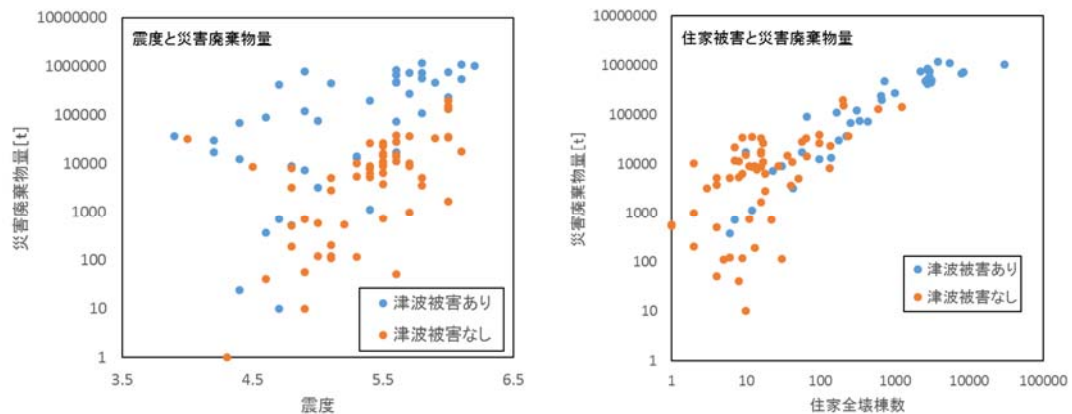


図 4-17 震度、住家被害と災害廃棄物発生量

次に、被害程度による災害廃棄物の組成に対する影響を図 4-18 に示す。被害の大きい地域では、コンクリートがらが約半分を占め、津波被害によって木くずの分別率が低くなる可能性があることが分かり、被害の小さい一部の自治体では、木くず等の可燃物の発生量が少ないため、通常のごみと一緒に回収され、災害廃棄物としての品目がコンクリートがらや瓦、ブロック等のみとなることがある。

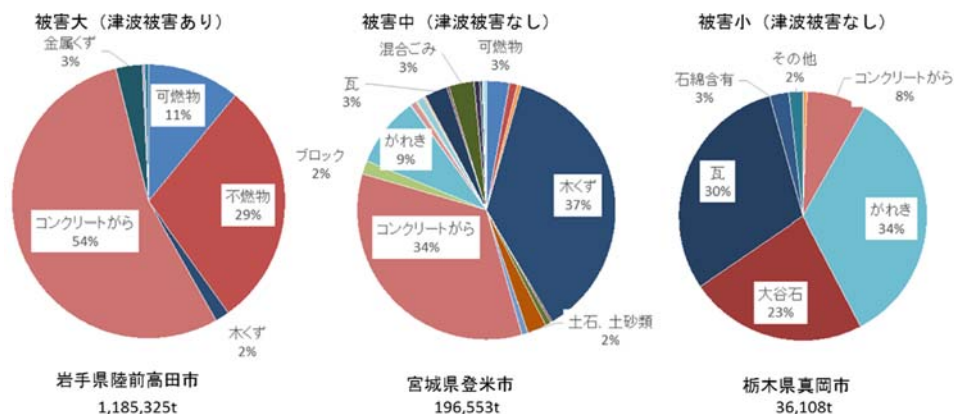


図 4-18 被害と災害廃棄物の組成

災害廃棄物の仮置場や処理施設への持ち込み量の時間変化について、図 4-19 に千葉県浦安市(浦安市クリーンセンター)を、図 4-20 に千葉県山武市(各処理施設)を示す。図には各種廃棄物の累積持ち込み量と日々の持ち込件数を示している。千葉県浦安市では、市域の 86%にあたる 1,455ha において液状化が発生しており、住家の被害は少ないものの、交通網に被害を受けた。時間経過を見てみると、地震発生直後の持込は少なく、地震発生から 2 週間経過すると持ち込み件数が増加していることが分かる。地震発生から 1 ヶ月は持ち込み件数が多いが廃棄物量が少ないことから市民による片付けごみの持込が多いことが分かる。地震発生から 2 ヶ月経過すると持ち込み件数は少なくなるが廃棄物量が多いことから業者による解体系の廃棄物の持込が多くなることが分かる。千葉県山武市では、津波の被害があり、浸水面積 9.4km²で床下浸水 275 棟となっている。廃棄物の時間経過を見てみると、地震発生直後の持込は少なく地震発生から 2 週間経過すると持ち込み件数が増加している。地震発生から

1-2 ヶ月は持ち込み件数が多いが可燃・不燃物がほとんどであることから片付けごみの持込であることが分かる。地震発生から3ヶ月経過するとコンクリートや木くず、がれき類の量が多いことから業者による解体系の廃棄物の持込が多くなることが分かる。比較的被害の少ない地域のデータではあるが、災害廃棄物は災害発生後1週間程度は仮置場や処理施設への持ち込み量は少ないことが明らかとなった。

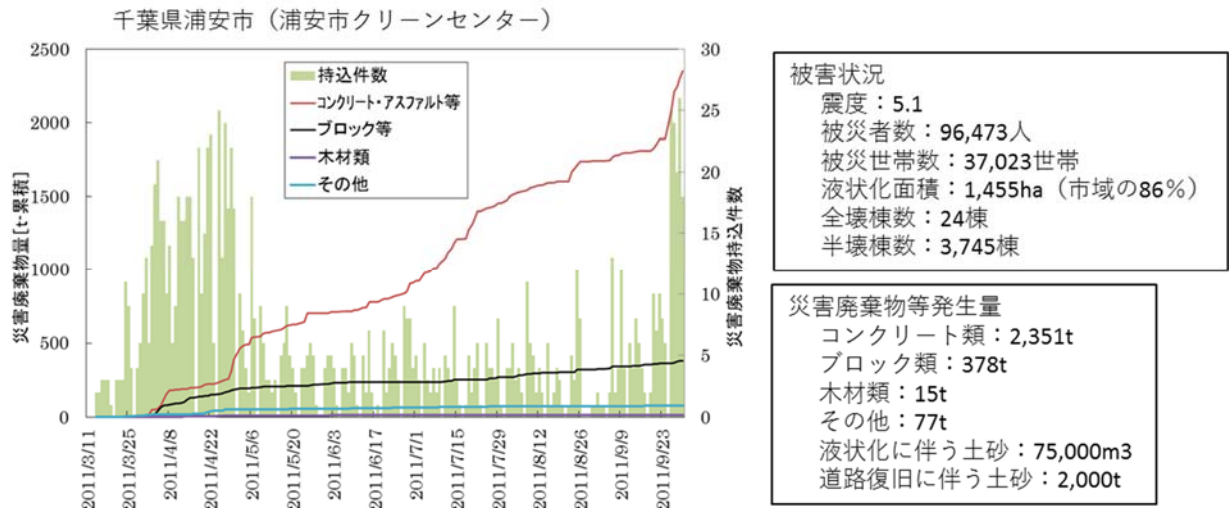


図 4-19 災害廃棄物の持ち込み量の時間変化(千葉県浦安市)

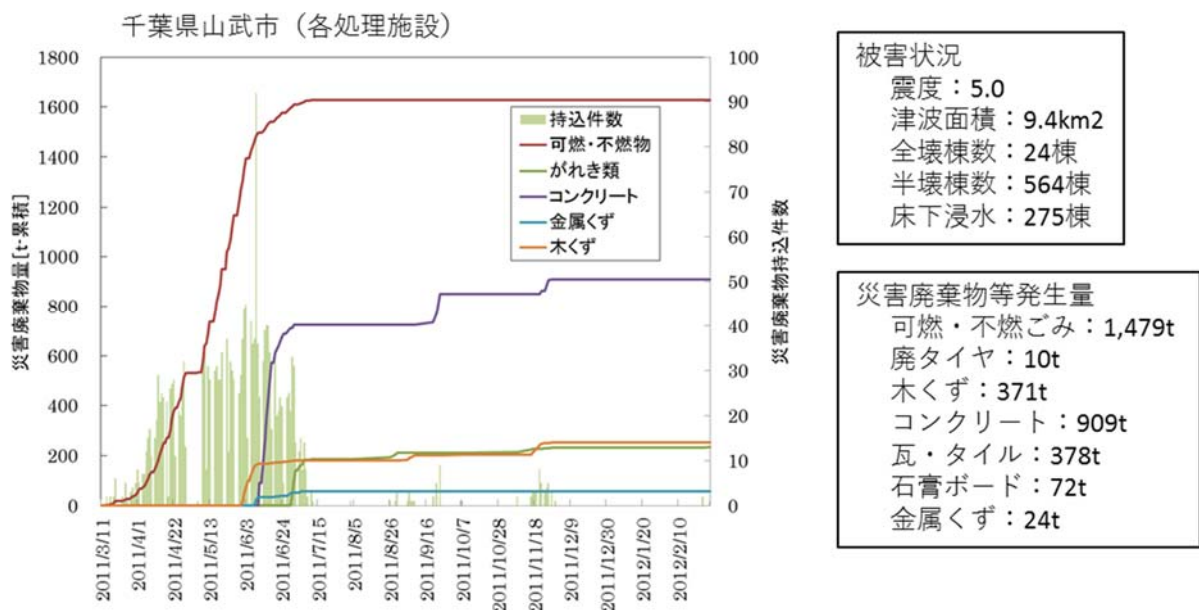


図 4-20 災害廃棄物の持ち込み量の時間変化(千葉県山武市)

被害と災害廃棄物の処理経費の内訳について図 4-21 に示す。被害の大きい地域では、災害廃棄物の中間処理最終処分費用が多くを占め、被害が小さい地域では、仮置場の管理等の処分費以外の費用の比率が大きくなる傾向が見られた。

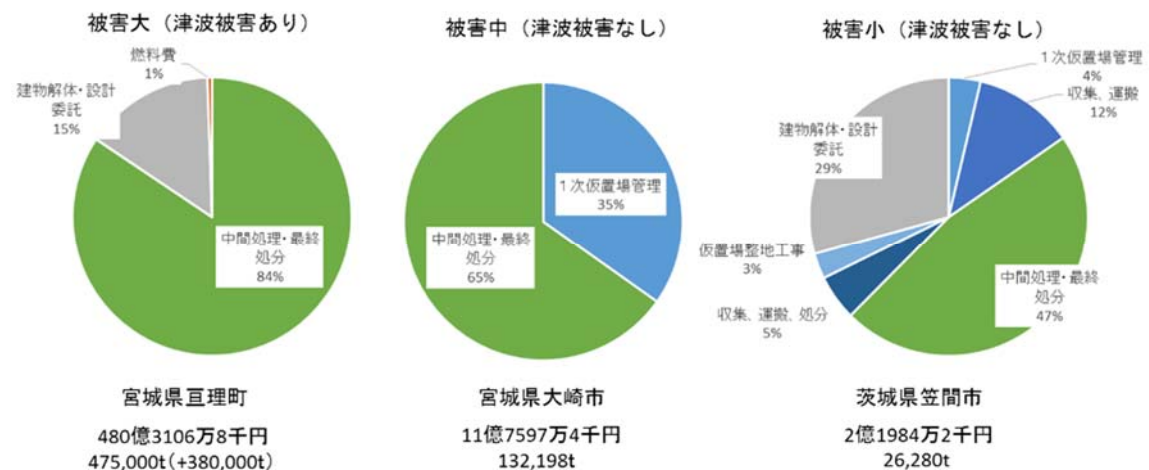


図 4-21 被害と災害廃棄物の処理経費

災害廃棄物の処理に必要なコストについて津波被害の有無に分けて整理を行った結果を図 4-22 に示す。処理費は、津波被害ありの場合 3.5 万円/t(津波堆積物含む)、津波被害なしの場合 1.9 万円/tとなった。過去の地震災害と比べると阪神淡路大震災では、約 2.2 万円/t(災害廃棄物量:1,450 万t)、中越地震では約 3.3 万円(災害廃棄物量:60 万t)であることから、津波被害なしの場合では、処理費が少なく、津波被害ありでは処理費が高くなっていることが分かる。津波被害なしの場合、災害廃棄物のリサイクル等の有効使用が行われた結果であると考えられる。

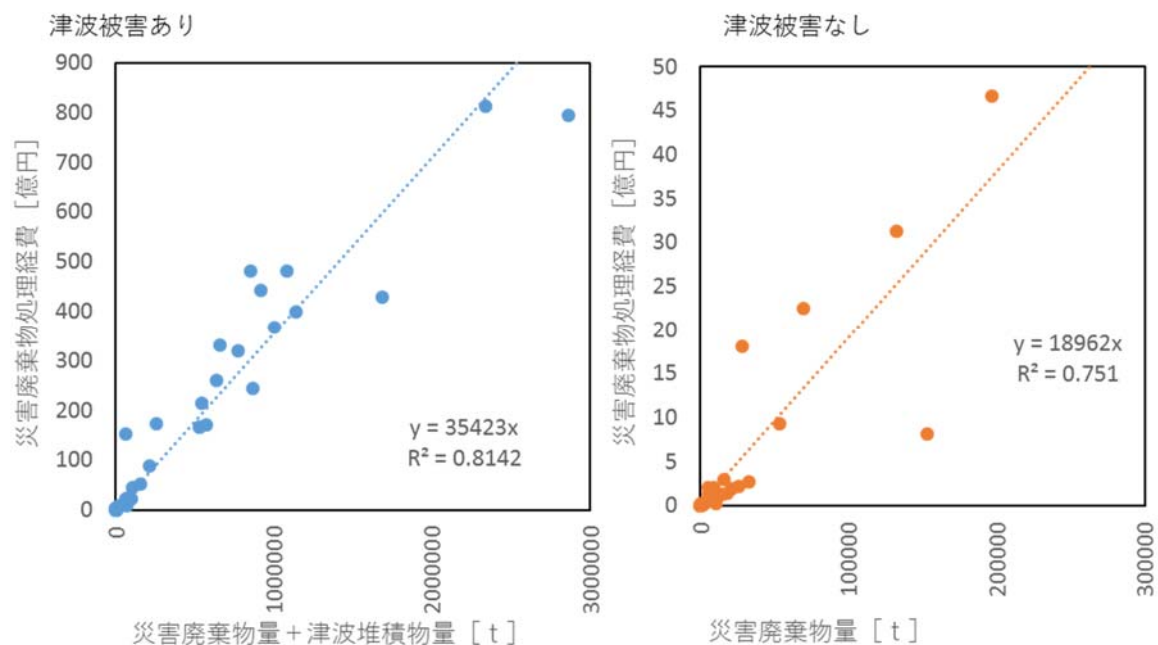


図 4-22 災害廃棄物の発生量と処理費

次に、災害廃棄物処理に関わる温室効果ガス排出量について算出を行った。各自治体より災害廃棄物処理量と災害廃棄物処理に関わる燃料費、燃料使用料について提供を受けたものを表 4-16 にまとめた。軽油の単価を 140

円/L、軽油の温室効果ガス排出係数を $2.58\text{kg-CO}_2/\text{L}$ として各自治体の温室効果ガス排出量、災害廃棄物 1t 当たり温室効果ガス排出量を算出した結果を表 4-16 に併せて示した。災害廃棄物の処理に関わる燃料というのは災害廃棄物の収集運搬に必要な車両の燃料、仮置場や処理施設での受け入れ分別作業に必要な重機の燃料などが該当する。各自治体より提供された情報には詳細な使用方法の記載が無いため把握は難しいが仮置場等で使用される重機の燃料が多くを占めていると予想している。災害廃棄物 1t 当たりの温室効果ガス排出量では $1.34\sim 10.1\text{kg-CO}_2$ という結果となった。災害廃棄物の処理量との関係性は見られないことが分かる。災害廃棄物発生量と温室効果ガス排出量の関係について図 4-23 に示す。災害廃棄物を 1t 収集・処理することにより、 3.6kg の温室効果ガスを排出することが分かった。

表 4-16 災害廃棄物の処理量と使用燃料

自治体	災害廃棄物 処理量 [t]	燃料費 [円]	燃料 使用量 [L]	温室効果ガス 排出量 [t-CO ₂]	廃棄物1t当たり 温室効果ガス排出量 [kg-CO ₂ /t]
A	855,000	252,699,000		4,476	5.24
B	6,380		25,992	64	10.10
C	5,344		4,753	12	2.21
D	2,862,340		4,076,000	10,108	3.53
E	532,811		473,000	1,173	2.20
F	878	63078	475	1	1.34
G	33,056	2,830,000	19,409	48	1.46

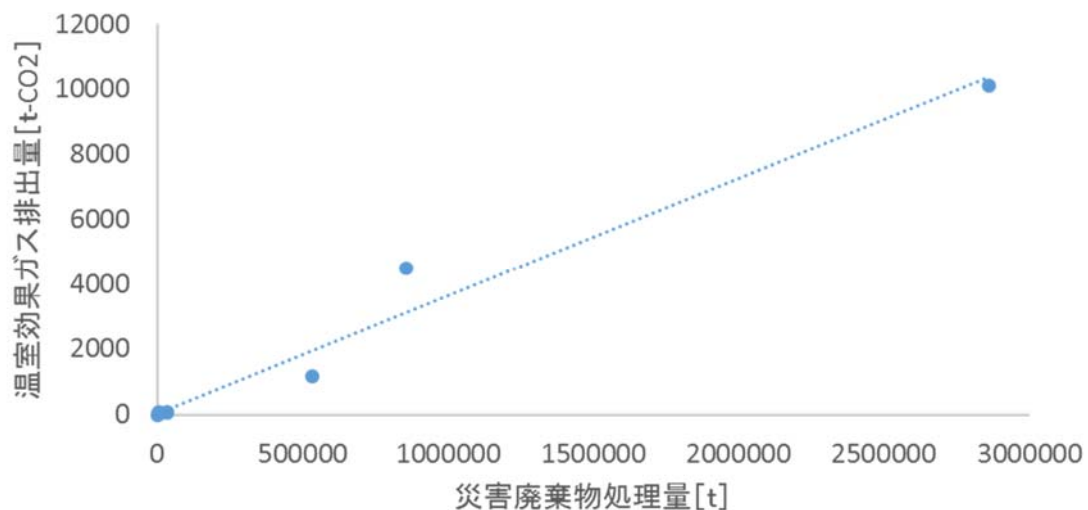


図 4-23 災害廃棄物と温室効果ガス排出量

b 一般廃棄物処理施設の耐震化状況、処理余力に関する実態調査

焼却施設の処理余力は、アンケート調査で得られた、補修整備・点検等を考慮した年間最大稼働可能日数の回答値を用いて試算した。なお、回答がない焼却施設は、回答結果の平均日数（292日）を代用した。結

果として、処理余力が1～10%未満である焼却施設の割合は約5%、10～20%未満の割合は約7%、20～30%未満の割合は約11%、30～40%未満の割合は約9%、40～50%未満の割合は約11%、50～60%未満の割合は約8%、60～70%未満の割合は約7%、70～80%未満の割合は約6%、80～90%未満の割合は約5%、90～100%の割合は約5%となった。また、100%以上の余力を持っている施設は約23%であった。以上の結果より、全国の焼却施設の約8割が、20%以上の余力を有していることがわかった。処理余力をもとに算出された災害廃棄物の処理可能量をみると、全国の焼却施設における災害廃棄物の年間処理可能量は、約16,005千tであった。施設の被害想定を考慮すると、年間処理可能量は約14,069千tとなり、被害を想定するかどうかにより、約1,936千tの処理可能量が減少することとなった。また、施設規模や処理余力が小さな施設は災害廃棄物を受け入れることが難しいと考えられ、処理能力が50t/日未満、また処理余力10%未満の施設を除外して算出した結果、年間の処理可能量は約13,326千t/年とやや減少した。これは施設規模が小さな処理施設は年間処理量も少ないためであると考えられる。

焼却施設の平均供用年数は25年前後が多い²⁾。これを踏まえ、供用年数が25年以上の焼却施設は使用しないと想定して計算した結果、年間処理可能量は約8,261千tと、上述の推計結果に比べて大幅に減少することとなった。老朽化が進んだ焼却施設の建替えに関しては、通常の処理に支障がないことが前提として、既存の焼却施設を稼働しながら、敷地内に新規の焼却施設を建設することが多い。しかし、敷地のスペースの制約で、建設が困難になる場合もある。現在は、人口減少も相まってごみ減量が進んでいる自治体が多く、老朽化した焼却施設を廃止し、ごみ処理の広域化を検討する自治体も少なくない。将来、全国にある焼却施設の施設数や処理余力は、現在より減る可能性が高く、南海トラフ巨大地震に係る災害廃棄物の広域処理の検討は避けることができない。

広域災害時における協力・連携方策を検討するための基礎情報として、施設の被害想定を考慮した各都道府県の処理可能量を図4-24に示す。都道府県別で災害廃棄物の年間処理可能量が最も大きいのは、大阪府で1,316千t、次いで東京都1,265千t、神奈川県1,207千tであった。8府県において、年間500千t以上の災害廃棄物を処理することが可能となった。地方別でみると、関東地方は5,097千tで最も処理余力が多いことが分かった。なお、通常、焼却施設は定期的な補修点検が必要となるため、1年を通してフル稼働することは考えがたい。そのため、年間稼働日数365日という設定は、あくまで、災害廃棄物の処理を最大限行おうと想定した場合の設定であることに留意が必要である。

焼却施設の耐震化について、環境省²⁾の調査では、2014年1月の時点で耐震性に関する上乘せ基準を採用している焼却施設の割合は全国平均で11%であり、必ずしも充実している状況とは言えない。また、アンケート調査で得られた回答を分析した結果、焼却施設の建設年度と耐震化には関連がみられなかったものの、処理能力とは有意な差が確認された（有意水準1%）。1981年に建設基準法の改正で新耐震基準が実施され、その以降に建設確認を受けた建物には、新しい基準が適用されていることが一因であると考えられる。

全国における粗大ごみ処理施設の余力は、前述した焼却施設と同様に、アンケート調査で年間最大稼働可能日数の回答値を用いて試算した。なお、回答がなかった施設は、回答結果の平均日数（276日）を代用した。その結果、施設の被害想定を考慮した粗大ごみ処理施設の処理余力が300%以上の割合（約34%）が最も大きく、200%～300%未満の割合（約33%）と合わせると、約67%を占めることが分かった。また、100%～200%未満の余力を持っている施設は約19%であった。結果として、全国の粗大ごみ処理施設の8割以上が十分な余力を有していることが示された。これは、多くの粗大ごみ処理施設の年間処理量の実績値が、アンケート調査で得られた年間の最大稼働可能日数の回答値から算出した年間処理可能量より遥かに少ないため

である。これより、全国における粗大ごみ施設の災害廃棄物の年間処理可能量は約4,457千tであると推計された。施設の被害想定を考慮すると、年間処理可能量は約4,232千tと減少した。また、粗大ごみ処理施設の平均供用年数は19.7年³⁾であるため、供用年数が20年以上の処理施設を除いて試算した結果、年間の処理可能量は約1,646千t/年となり、6割以上の処理可能量が減少した。そして、地方別でみると、災害廃棄物の年間処理可能量が最も大きいのは、関東地方で1,223千t、次いで近畿地方909千tであった。一方、供用年数が20年以上の処理施設を除外すれば、年間処理可能量は、すべての地方において500千t以下になることがわかった。

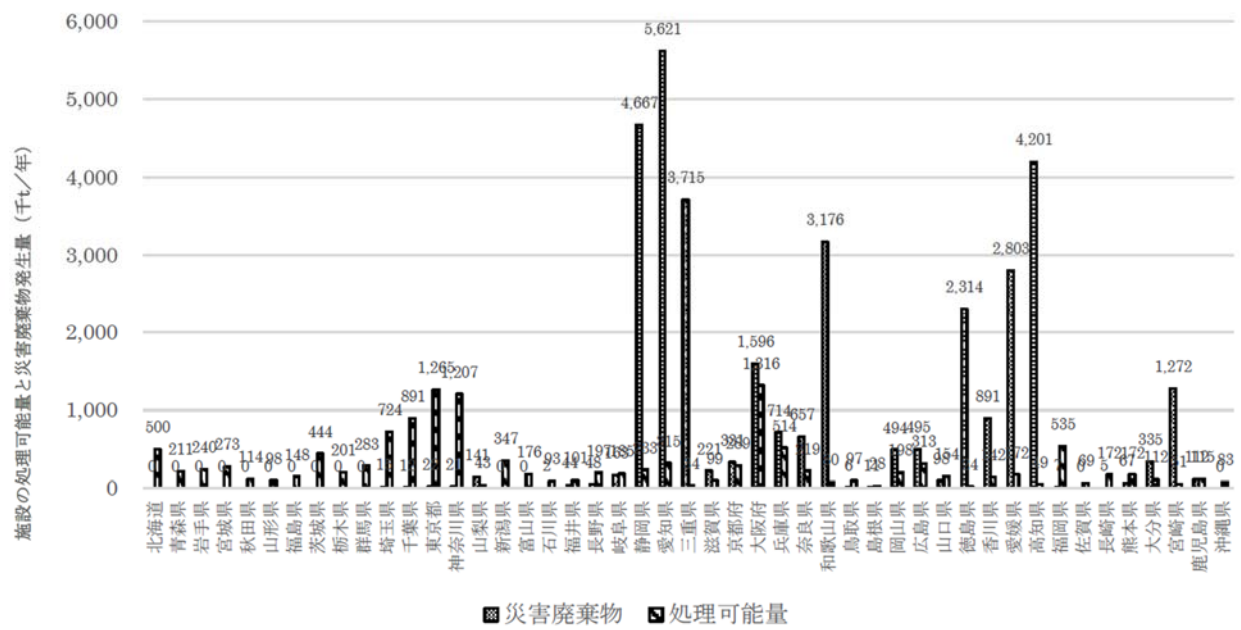


図 4-24 都道府県における施設の処理可能量と災害廃棄物発生量の試算結果

ｃ産業廃棄物処理施設の処理余力に関する実態調査

全国（沖縄県以外）の 1200 社より回答を得た。産業廃棄物施設について、破碎施設（がれき、木くずのみ、木くず含むその他）と焼却施設（木くず）における処理余力を算出した。産業廃棄物処理施設については各自治体の許可名簿、アンケート結果を基にデータを整理したが、処理能力、処理余力、施設地点における震度等が不明である施設が多く存在した。これらの施設においては表 4-17、表 4-18 より処理能力、処理余力の割合が不明な破碎施設に代入する値を求めた。がれきの処理を行う施設は処理能力を 400(t/日)、処理余力の割合を 92%とした。木くずの処理を行う施設は処理能力を 32(t/日)、処理余力の割合を 91%とした。これらの値を用いて、全国の産業廃棄物処理施設の年間処理余力を算出した。その結果を表 4-19 に示す。

表 4-17 産業廃棄物処理施設（破碎施設）における処理能力

	施設数	処理能力(t/日)				
		最小	最大	平均値	中央値	標準偏差
がれき	2,365	0.24	8,462	526	400	620
木くず	2,258	0.20	5,718	119	32	263

表 4-18 産業廃棄物処理施設（破碎施設）における処理余力の割合

	施設数	処理余力(%)				
		最小	最大	平均値	中央値	標準偏差
がれき	232	0	100	80	92	27
木くず	107	0	100	78	91	30

表 4-19 産業廃棄物処理施設（破碎施設）における年間処理余力

	年間処理余力（万 t）			
	がれき		木くず	
	被災後 一年目	被災後 二年目以降	被災後 一年目	被災後 二年目以降
北海道	4,747	4,755	575	579
東北地方	9,411	9,520	1,289	1,295
関東地方	12,870	12,991	2,223	2,248
中部地方	14,450	15,534	1,752	1,918
近畿地方	7,390	7,917	1,457	1,570
中国地方	7,131	7,211	901	912
四国地方	3,480	3,951	380	429
九州地方 (沖縄県除く)	9,511	9,757	1,150	1,177
全国合計 (沖縄県除く)	69,020	77,864	9,727	10,128

次に、処理余力の割合が不明な焼却施設に代入する値を表 4-20、表 4-21 のように求めた。木くずの焼却施設においては処理能力を 12（t/日）、処理余力の割合を 54%とした。上記の値を用いて、全国の木くずの焼却施設における年間処理余力を求めた。その結果を表 4-22 に示す。

表 4-20 産業廃棄物処理施設（焼却施設）における処理能力

	施設数	処理能力（t/日）				
		最小	最大	平均値	中央値	標準偏差
木くず	336	0.30	4,712	57	12	266

表 4-21 産業廃棄物処理施設（焼却施設）における処理余力の割合

	施設数	処理余力（%）				
		最小	最大	平均値	中央値	標準偏差
木くず	38	0	98	51	54	31

表 4-22 産業廃棄物処理施設（焼却施設）における年間処理余力

	木くず (万 t)		動植物性残渣 (万 t)		感染性産業廃棄物 (万 t)	
	被災後 一年目	被災後 二年目 以降	被災後 一年目	被災後 二年目 以降	被災後 一年目	被災後 二年目 以降
北海道	9	9	13	14	12	12
東北地方	40	40	44	44	18	18
関東地方	109	113	96	99	45	46
中部地方	62	66	53	58	27	29
近畿地方	160	168	67	74	26	27
中国地方	38	43	33	38	24	28
四国地方	32	38	34	41	30	32
九州地方 (沖縄県除く)	31	34	14	15	12	13
全国合計 (沖縄県除く)	471	501	340	369	182	193

次に、処理施設の購入年(建設年)と耐震状況について図 4-25 に示す。35%の処理施設が屋外に設置されており、全体の約半数程度が地震によって建屋被害を受けないことがわかる。1985 年以前に購入、建設された処理施設では、耐震化されている施設はなく、それ以降の施設で耐震化された施設の比率が高くなることがわかる。

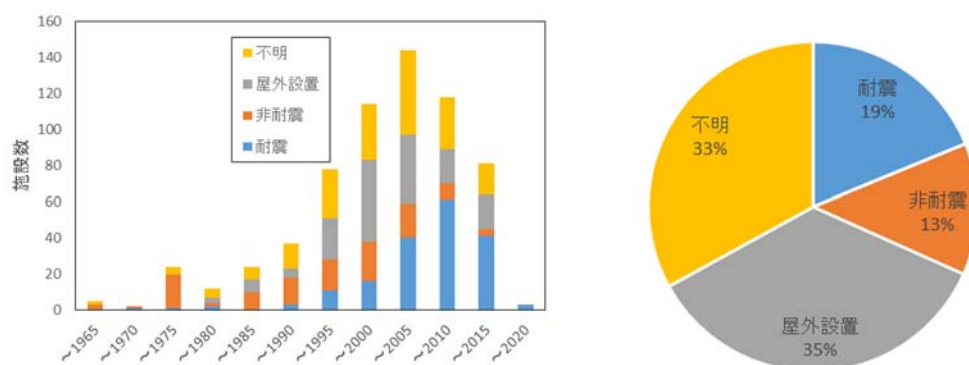


図 4-25 各施設の購入年度と耐震状況

3) ケーススタディ

a 熊本地震

図 4-26 にライフサイクルでみた環境負荷、コストの結果を示す。ここでは、環境負荷、コストの算出に際し、可燃物の処理を 2 ケースに分けた場合での結果を比較した。ケース 1 は可燃物を一般廃棄物の焼却施設で全量処理した場合、ケース 2 は可燃物を一般廃棄物と産業廃棄物の焼却施設で処理した場合である。2 ケースについて評価した理由は、熊本県⁴⁾は発災から 2 年間で処理を終えることを目標としており、焼却

施設の選択方法により処理期間がどのように変化するかを調べるためである。その結果として、ケースでは、可燃物をすべて処理するために約 2.4 年かかることがわかった。そのため、上述した目標を達成することは困難であり、ケース 2 のように産業廃棄物の焼却施設を利用することが必須となることがわかった。

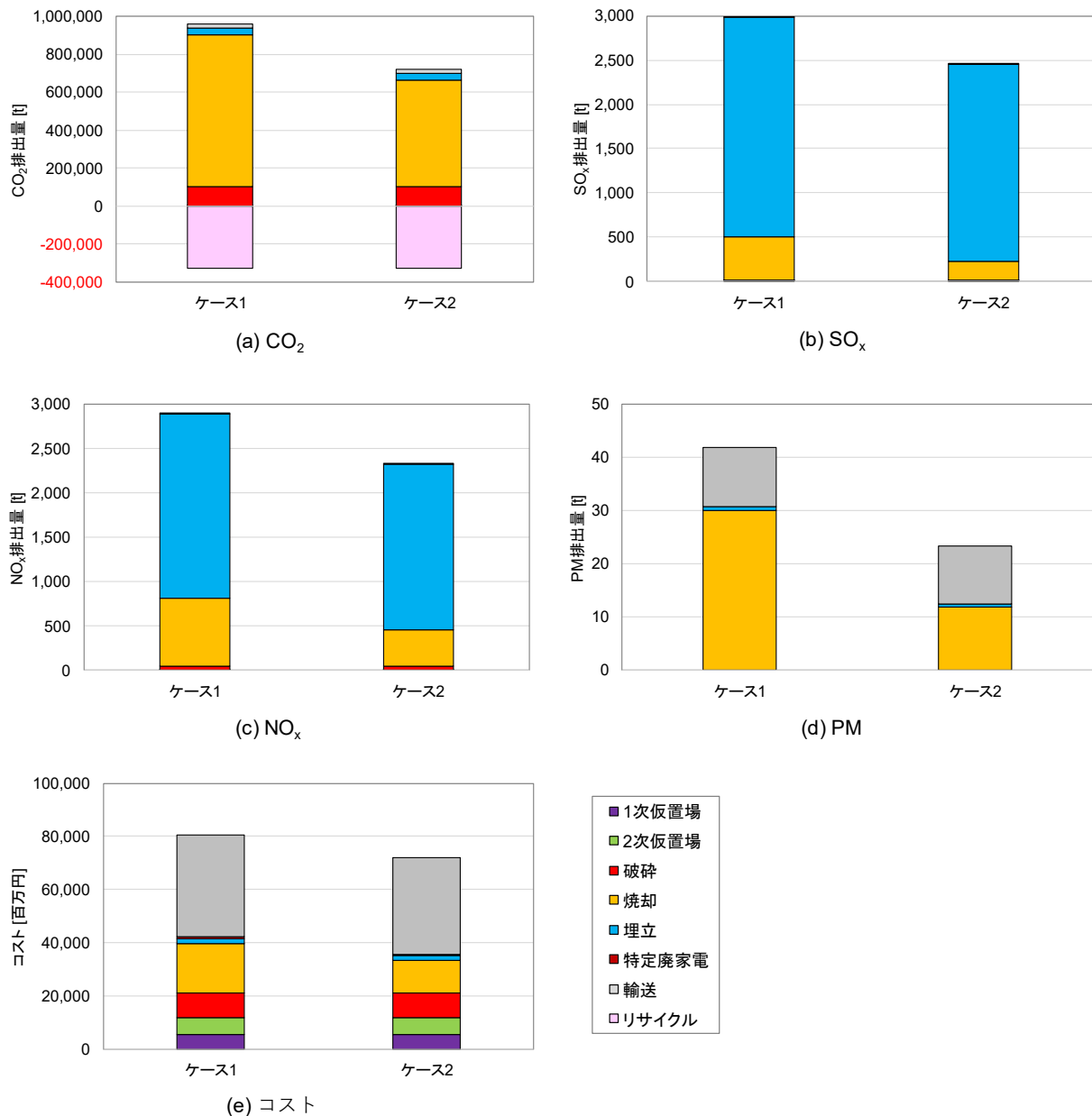


図 4-26 ライフサイクル環境負荷、ライフサイクルコスト

環境負荷の結果について考察する。CO₂ 排出量は 390,000t(ケース 1)、630,000t(ケース 2)となった。災害廃棄物のリサイクルによる CO₂削減効果は、約 34%(ケース 1)、約 46 %(ケース 2)であった。CO₂削減効果として最も大きかったのは、木くずの燃料利用である。ケース 1 とケース 2 では、ケース 2 のほうが約 38 % 排出量が少ない。これは、産業廃棄物の焼却施設の CO₂ 排出原単位が一般廃棄物の焼却施設に比べて小さいことに起因している。SO_x 排出量、NO_x 排出量、PM 排出量、コストは、それぞれ ケース 1 で 3,000 t、2,900 t、40 t、38,311 百万円、ケース 2 で 2,500t、2,300 t、20 t、36,225 百万円となった。いずれのケースも、

ケース 2 のほうが小さい。CO₂排出量の結果では焼却プロセスが最も大きくなったが、SO_x、NO_x排出量の結果では埋立プロセスが最も大きくなった。PM 排出量の結果では、輸送プロセスが最も大きくなった。

災害廃棄物の処理により発生する環境負荷、コストがどれほどのインパクトを持つのかを考察する。CO₂排出量は、熊本県の年間温室効果ガス排出量の約 5%(ケース 1)、約 3%(ケース 2)に相当する量であり、無視はできないがインパクトとしては小さい。一方、SO_x排出量は、熊本県の年間 SO₂排出量と比較すると約 35%(ケース 1)、約 29%(ケース 2)に相当する。年間排出量の約三分の一が災害廃棄物の処理時に発生すると考えると、無視できないインパクトであることが伺える。そのため、自治体が災害廃棄物の処理案を検討する際は、地域大気汚染の排出を抑制するような輸送、処理の方法を検討する必要がある。コストは、財務省⁵⁾の H28 年度一般会計補正予算(第 3 号)の災害対策費の約 1.4 倍(ケース 1)、約 1.3 倍(ケース 2)に相当する金額となった。

b 三重県南伊勢町

図 4-27 に、メッシュ単位での発生分布の結果を示す。全体での発生量は約 55.7 万 t であり、建物由来が 53.4 万 t と、耐久消費財に比べて圧倒的に大きい。なお、推計結果の検証について、三重県⁶⁾でも災害廃棄物発生量の推計を行っているが、三重県ではブロック単位での推計を行っているため、町単位での直接的な検証を行うことはできない。三重県では、L2(M8 クラスの地震・津波)がきた場合の想定として、伊勢志摩ブロックで 622 万 t の災害廃棄物が発生すると予測している。今回の結果は、三重県が想定する結果の約 9%程度である。本推計結果は住宅のみを対象としているが、南伊勢町の世帯数は、伊勢志摩ブロック内の世帯数の約 6%であり、得られた結果は合理的であると考えられる。

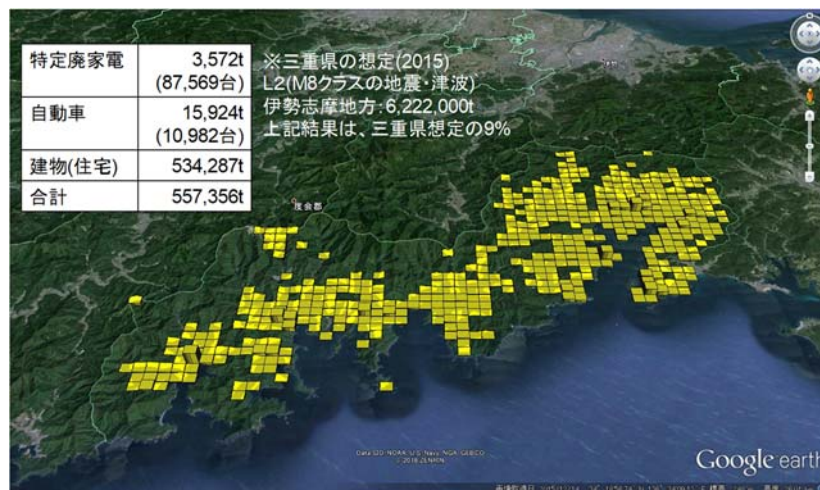


図 4-27 南伊勢町における災害廃棄物発生量の発生分布

災害廃棄物発生量をもとに仮置場の必要面積を計算した結果、町内で約 30ha となった。これに対し、南伊勢町で供給可能な仮置場は全 29 ヶ所 55ha となり、2 次仮置場に用いる 10ha 以上の土地を除いたとしても、十分な 1 次仮置場を供給可能であることがわかった。但し、これは私有地の利用を考慮した場合であり、公有地のみで確保することは極めて厳しい。また、図 4-28 のように個別の仮置場をみた場合、必要面積が供給可能面積を上回っている場所もあった。この場合は、他の余裕がある仮置場に輸送しなければならない。

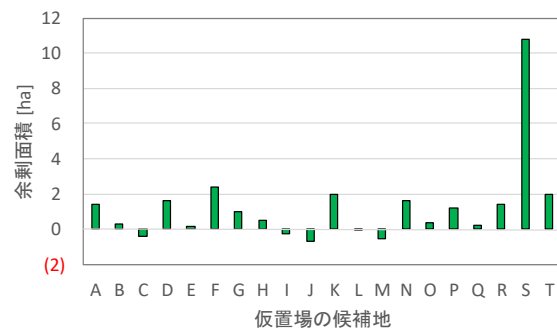


図 4-28 仮置場の候補地別の余剰面積(候補地内に、複数の仮置場がある場所もあり)

図 4-29 にプロセス別の CO₂ 排出量を示す。CO₂ 排出量の合計は約 137t であり、輸送、処理に係る負荷が多かった。NO_x、SO_x、PM のそれぞれの排出量は、7kg、277kg、38kg であった。図 4-30 にプロセス別のコストを示す。コストの合計は約 1 億円で、仮置場でのコストが全体の約 70%を占めていた。但し、1 町でみれば、特定廃家電発生量自体が少ないため、排出量やコストも少ない。実際には、複数の被災地から大量の特定廃家電が家電リサイクル工場に送られてくることを想定すると、発生する環境負荷やコストは大きくなることが予想される。

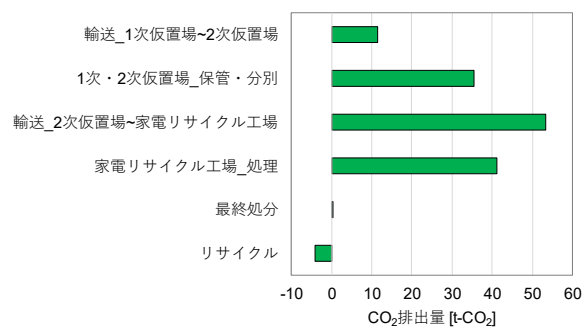


図 4-29 プロセス別の環境負荷(CO₂ 排出量)

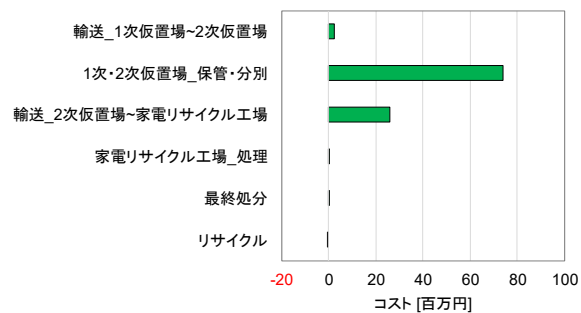


図 4-30 プロセス別のコスト

なお、仮置場必要面積の計算では、特定廃家電のみを対象とするのは非現実的であったため、建物(住居)、自動車由来の災害廃棄物発生量も考慮していた。これを踏まえ、建物(住居)、自動車、耐久消費財由来の災害廃棄物の 1 次仮置場、2 次仮置場での分別・保管、1 次仮置場から 2 次仮置場までの輸送に伴う環境負荷

を算出した。結果として、CO₂、NO_x、SO_x、PMのそれぞれの排出量は、7,306t、602kg、2,425kg、936kgであった。排出量自体はそれほど大きくはない。このうち、局所的な汚染源となるSO_xに着目する。災害廃棄物の保管、選別、輸送で発生するSO_xは、被災地住民の健康を損ねることに繋がる。そこで、大気汚染防止法で定められた環境基準⁷⁾を満たすために、仮置場・輸送にかかる1日あたりの労働時間から災害廃棄物の仮置き・輸送に必要な稼働年数を算出した(図4-31)。環境基準を満たす形で1年以内に処理を終えるためには、1日当たり16時間以上の労働時間が必要であることがわかった。東日本大震災での事例を踏まえて3年で処理を終えると想定した場合は、1日当たり4.8時間で稼働すればよいことがわかった。

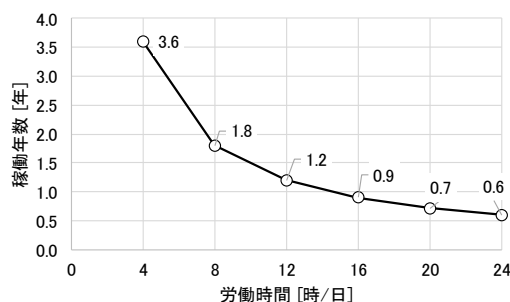


図4-31 大気汚染の環境基準を満たす稼働年数

c 三重県全域

災害廃棄物発生量の推計結果を図4-32に示す。ここでは、「防潮施設が機能する場合」を堤防健全、「防潮施設が機能しない場合」を堤防破壊とする。結果として、住宅由来の災害廃棄物および津波堆積物は、堤防健全で約7,178千tと約5,012千t、堤防破壊で約11,956千tと約16,040千tそれぞれ発生することがわかる。堤防健全と堤防破壊と比較すると、住宅由来の災害廃棄物は、堤防健全よりも堤防破壊の方が1.7倍多い。また、津波堆積物については実に約3.2倍も多い。このことから、防潮施設が機能することによる災害廃棄物の発生抑制効果は大きいことがわかる。続いて災害廃棄物を空間分布でみた場合、住宅由来の災害廃棄物は、北勢、中南勢、伊勢志摩で発生が多いことがわかる。これは、伊勢志摩地域は地震の揺れが他地域に比べて大きいこと、津波被害が大きいことに起因している。北西、中南勢地域は、住宅数が多いことが起因している。津波堆積物については、沿岸部で万遍なく発生する。特に堤防破壊では北勢地域での発生が顕著であることがわかる。

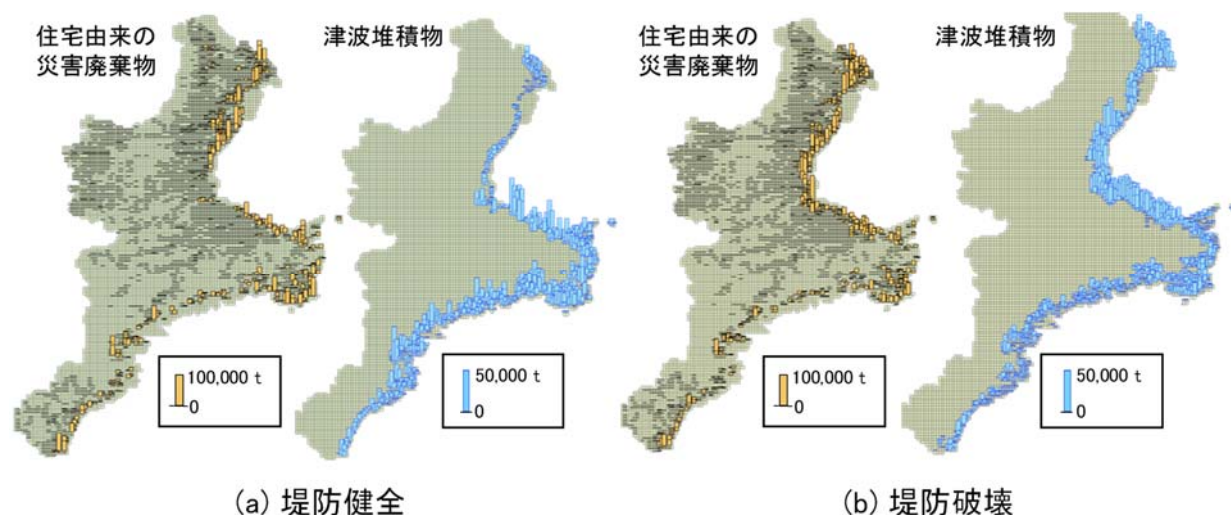


図 4-32 災害廃棄物発生量の空間分布

(注釈) 堤防健全：防潮施設が機能する場合、堤防破壊：防潮施設が機能しない場合

図 4-33 に市町村別での仮置場の余剰面積と不足面積を示す。仮置必要面積は、堤防健全 で 235 ha、堤防破壊で 413 ha となった。仮置可能面積と仮置必要面積を比較した結果、堤防健全と堤防破壊で比較すると、堤防破壊よりも堤防健全の方が北勢、中南勢地域で余剰面積が多くなることがわかる。三重県北部の沿岸部や内陸部は供給面積に余裕がある一方で、伊勢志摩地域では、約 35ha(堤防健全)、約 60ha(堤防破壊)不足することがわかった。二次仮置場の候補地は、北勢、中南勢、伊賀地域に限られることが伺える。また、特に伊勢志摩地域では地域内で処理を完結することが困難であり、地域間での処理の融通が必要であることが伺える。シナリオ別で市町村別の仮置場面積をみたところ、伊勢志摩等の仮置場が不足している地域の面積は、シナリオ別で殆ど変化しなかった。一方、余剰面積がある四日市市や津市、松坂市等の北勢や中南勢での沿岸地域では、余剰面積が大きく増えることがわかった。

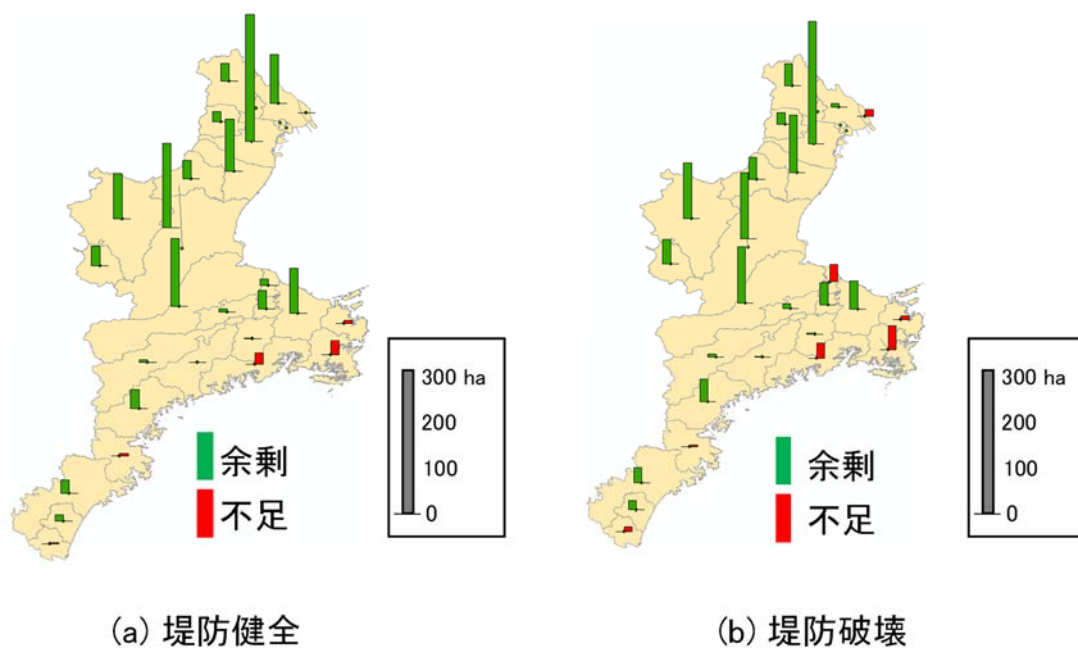


図 4-33 仮置場の余剰面積と不足面積

図 4-34 にコスト最小化を目的関数として導出された輸送ネットワークの結果を示す。輸送①～輸送④は、図 3-11 の①～④と対応している。結果として、堤防健全の場合は二次仮置場を 21 カ所確保できることがわかった。堤防健全は堤防破壊と比べて災害廃棄物発生量が少なく、処理施設の処理能力の制約が少なくなることから、1 か所の焼却施設に輸送が集中する傾向がみられた。また、県内の既存の焼却施設のみを用いることで、3 年間で処理を完了できることがわかった。一方、堤防破壊の場合は、確保できる二次仮置場は県内で 17 カ所に留まる結果となった。また、堤防健全と堤防破壊で輸送①、輸送②、輸送④について構築された輸送ネットワークを比較すると、堤防健全の方が堤防破壊よりもネットワークの本数が減少していることが示された。また、輸送③では、堤防健全の方が堤防破壊よりも地域間を跨いだネットワークの本数が増加し、災害廃棄物の輸送量も増えることが示された。これに伴い、堤防健全は堤防破壊と比べて輸送①と輸送④は輸送範囲が小さく、輸送②と輸送③では、輸送範囲が大きくなった。このような結果なった理由としては、発生した災害廃棄物の量に比べて二次仮置場の候補地や三重県内の焼却施設が少ないためと考えられる。

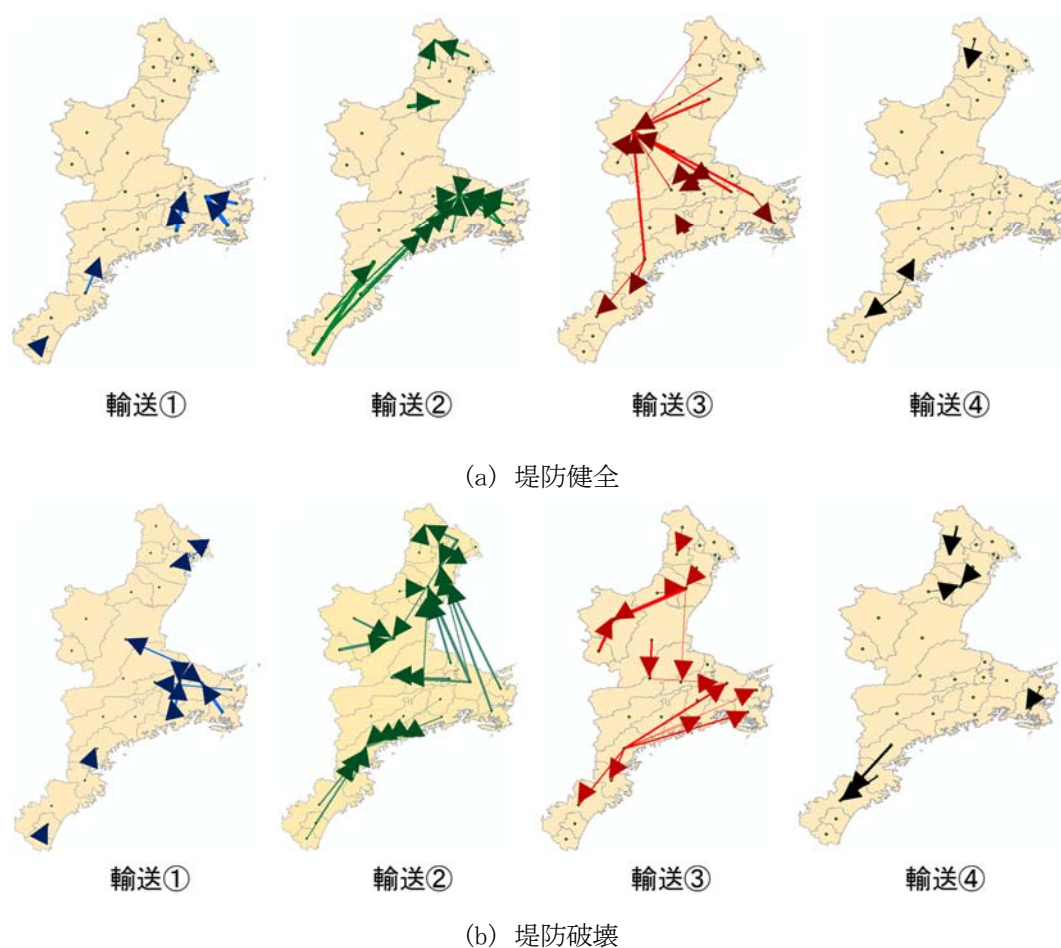
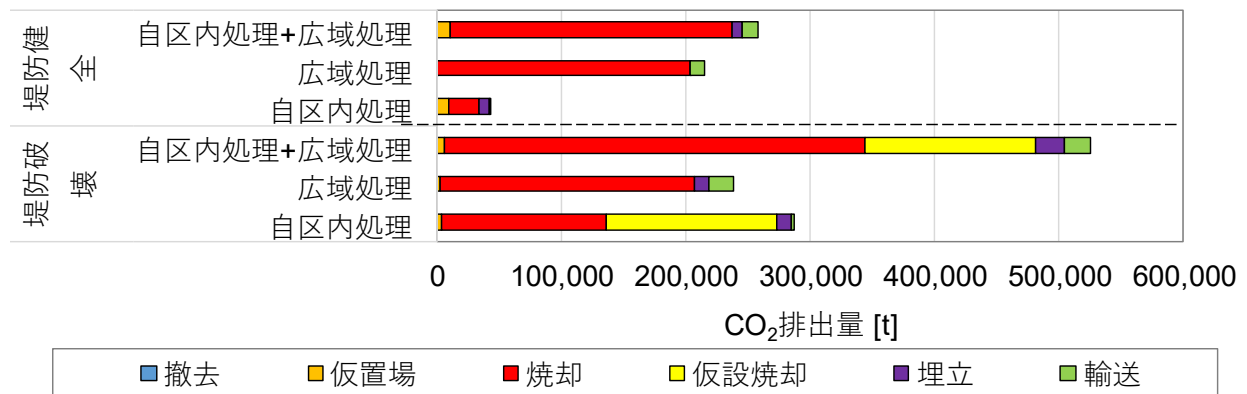


図 4-34 輸送ネットワーク

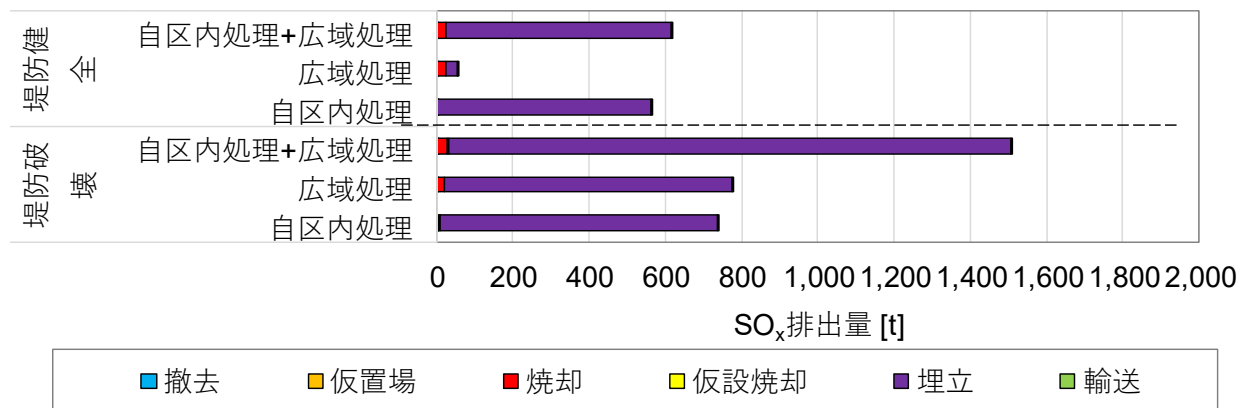
構築された輸送ネットワークをもとに地域別での可燃物の処理量をみると、いずれのケースにおいても、地域内での可燃物の一次仮置場での保管量や最終処分量は、地域外で処理される分よりも多かった。一方、地域内での二次仮置場での保管量や分別量、焼却量は、地域外で処理される分よりも少なかった。特に、伊勢志摩では、仮置可能面積や処理施設の処理余力の少なさから、特に焼却処理に関する地域外への依存度が非常に高いことがわかった。堤防健全と堤防破壊の大きな違いとして、堤防破壊は堤防健全と比べて災害廃棄物量が増えるため、3年間で処理を完了させるには、仮設焼却施設を二次仮置場に設置する必要があることがわかった。堤防破壊では、仮設焼却施設の設置が必須となる。仮設焼却で処理が必要な可燃物は約380千tであり、可燃物総量の約17%に相当する。構築された輸送ネットワークでは、仮設焼却施設は、北勢地域で3ヶ所、中南勢、東紀州地域で1ヶ所ずつ設置する結果となった。

コスト最小化を目的関数として実施したインベントリ分析の結果を図4-35、図4-36に示す。各ケースについて、地域内での処理と地域外での処理の結果が示されている。2つの結果を合算したものが、各ケースのトータルでの結果である。このように地域内での処理と地域外での処理を分けることで、空間を考慮した処理の傾向をみることができる。結果として、堤防健全は、CO₂、SO_x、NO_x、PMの排出量、コストは、それぞれ258千t、618t、1,705t、7.9t、27,755百万円となった。堤防破壊の場合はそれぞれ、526千t、1,509t、11,688t、16.2t、103,924百万円となった。いずれの結果も、堤防健全の方が小さい。これは災害廃棄物の発生量の違いに起因するものであり、防潮施設の改修は、環境負荷とコストの削減の観点からも意義が大

きいことが伺える。特に、堤防健全は堤防破壊に比べて 73%もコストを削減することができる。

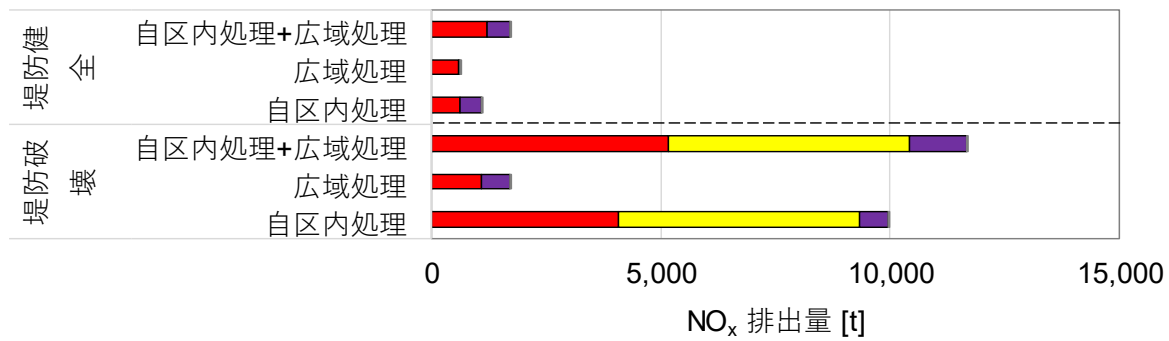
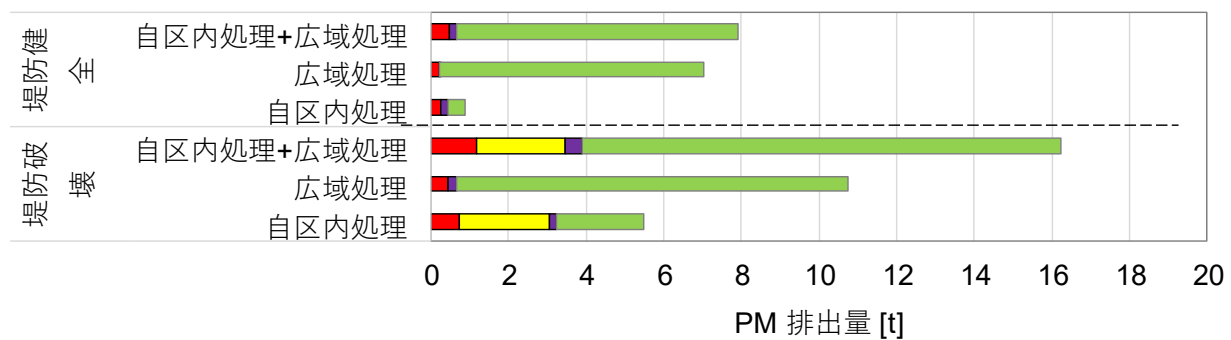


(a) CO₂



(b) SO_x

図 4-35 環境負荷の算出結果

(c) NO_x

(d) PM

図 4-35 環境負荷の算出結果(続き)

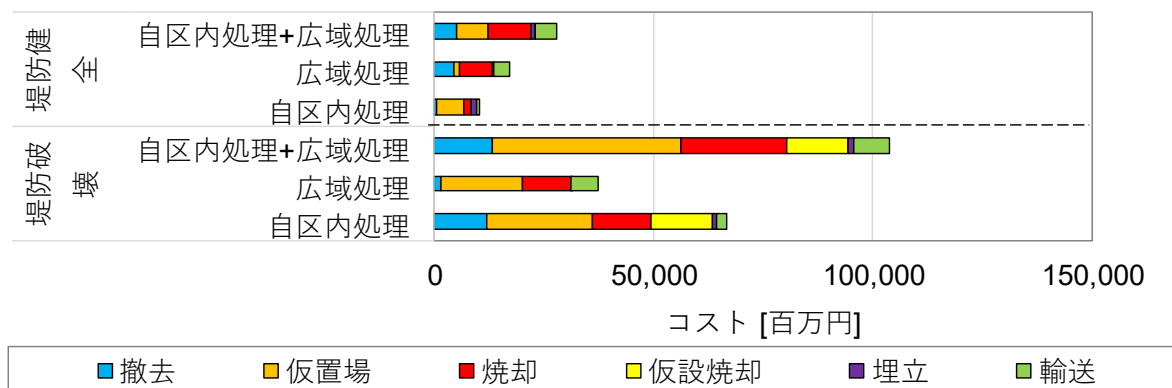


図 4-36 コストの算出結果

プロセス別で結果をみると、CO₂ と NO_x、コストは、仮置場と焼却のプロセスが支配的であることがわかる。仮置場については、Tabata et al⁸⁾が仮置場での発生量が大いことを示しており、同様の傾向が伺える。また、焼却については、Tabata et al⁹⁾がごみ処理システムの中でも焼却由来の環境負荷、コストが大いことを示している。この事例はごみ処理に限定されたものであるが、災害廃棄物についても同様の傾

向が伺えることが示された。特に、堤防破壊では、仮設焼却施設の設置が必須となるため、この仮設焼却のプロセス追加に伴う CO₂ 排出量、コストの増加が顕著であった。単純な比較はできないものの、仮設焼却施設が設置されることにより、堤防健全に比べて堤防破壊は、CO₂ が約 2.1 倍、コストが約 4 倍増加することが確認された。SO_x は最終処分プロセスで、PM は輸送のプロセスでそれぞれ支配的であることが示された。なお、CO₂ 最小化を目的関数として実施した場合、コスト最小化を目的関数とした場合よりも CO₂ は約 26%、コストは約 22%削減される結果となった。これは、CO₂ 排出を避けるために、仮設焼却施設の利用が避けられたりしたためであると考えられる。

続いて、地域内での処理と地域外での処理の結果をみる。堤防健全では、SO_x と NO_x の結果を除いて、地域内での処理よりも地域外での処理の方が、負荷が大きくなった。これは、堤防破壊と比べて可燃物発生量が少ないことから、地域外での処理の自由度が増加したためであると考えられる。一方、堤防破壊では仮設焼却施設を設置することにより地域内での処理が増加し、結果として地域外での処理よりも負荷が少なくなっている。なお、ごみ向けの焼却施設と産業廃棄物向けの焼却施設での焼却処理の割合は堤防健全でそれぞれ 53%、47%、堤防破壊でそれぞれ 54%、45%となった。ごみ向け、産業廃棄物向けに関わらず、万遍なく県内の焼却施設が利用される結果となった。

以上の結果より、どのプロセスで負荷が大きいのか、仮設焼却施設の設置に伴う環境的・経済的影響がどの程度かを明らかにすることができた。また、地域内での処理を実施することは当然であるが、地域外での処理も必須となることが明らかとなった。今回のインベントリ分析で得られた環境負荷、コストの結果がどの程度の影響の大きさを持つのかを考察する。ここでは、インベントリ分析の CO₂、SO_x、NO_x の排出量、コストの結果と、三重県の CO₂、SO_x、NO_x の年間排出量、年間の予算を比較した^{7, 10)}。結果として、CO₂ 排出量の結果は堤防健全、堤防破壊ともに、年間 CO₂ 排出量の約 1~2%に留まった。NO_x、SO_x 排出量は堤防健全で年間 NO_x 排出量のそれぞれ 10%、10%、堤防破壊でそれぞれ 66%、26%となった。コストは、堤防健全で年間予算の 5%、堤防破壊で 14%を占めることがわかった。災害廃棄物マネジメントにおいては、災害廃棄物処理に伴う環境的影響を論じることは重要である。しかし、CO₂ 排出量は微々たるものであり、考察に値しないことが示された。一方で、NO_x、SO_x は、無視できない量であることがわかった。このことから、災害廃棄物マネジメントにおいては、地域大気汚染を削減する対策を検討することが重要であるといえる。また、コストについても無視できない数値であり、上述した防潮施設の改修は極めて重要であるといえる。もちろん防潮施設の改修には多大なる費用が必要である。しかし、これにより人命や住民の財産の保護が期待できるとともに、災害廃棄物の発生抑制による処理コストの大幅な削減も期待できる。防潮施設の費用対効果をみながら、防潮施設の改修の是非や改修の規模を検討することが望ましいといえる。その際に、本研究で得られた災害廃棄物発生量、環境負荷、コストのそれぞれの結果は、防潮施設の費用対効果の算出に大いに利用できるといえる。

なお、撤去費については、自治体が災害廃棄物の撤去を実施した場合の費用を想定して算出している。図 4-36 からわかるように、撤去費は無視できない金額である。実際は、被災者や自治会・町内会、ボランティア、自衛隊等のような協力者が撤去を行うため、このような撤去費用はほぼ発生しないと考えられる。しかしながら、これが成り立つのは被災者や協力者が撤去を担う場合であり、高齢の被災者が多い地域では被災者地震による撤去が難しい場合が予想される。また、南海トラフ巨大地震では広範囲での被害が想定されており、複数の被災自治体に協力者が分散するため、撤去が思うように進まないケースも予想される。このようなケースの場合は自治体が率先して撤去に動かざるおえず、それに伴い相応の撤去費

が発生するといえる。このような撤去費用の発生を防ぐためには、被災者や協力者が撤去に対して最大限の力を発揮できるような地域づくりが必要であると考えられる。

（４）災害廃棄物の撤去・収集・広域処理等に係る住民意識の評価

１）災害廃棄物処理におけるコミュニティ力と災害に強いまちづくりの検討

まず、災害廃棄物の処理とコミュニティの関係を検討するため、住民による災害廃棄物の搬送量とコミュニティの状況の相関関係を分析した（表 4-13）。この結果、自治会や町内会等に参加している世帯割合は、地域のことなどに関心を持っていると考えられる。また、65 歳以上の高齢者や最終学歴が高校・旧中の関係で正の相関が見られた。その一方で、最終学歴が大学・大学院では相関が低く、また 15 歳から 64 歳の生産年齢人口割合は負の相関であった。このことから、地域に関心が比較的に深いと思われる高齢者層や、地域に密着して生活している人々などは災害廃棄物の処理に積極的であると推察される。

表 4-13 住民による災害廃棄物の搬送量とコミュニティの状況の相関関係（R=）

	搬入量
加入世帯割合	0.61
15～64歳の人口割合	-0.61
65歳以上の人口割合	0.44
第1次産業者割合	0.15
第2次産業者割合	-0.42
最終学歴人口割合（高校・旧中）	0.47
最終学歴人口割合（大学・大学院）	0.17
刑法犯認知件数	-0.38

次に、災害・復興時のコミュニティに期待することについて調査するため、東北・阪神・東北阪神以外の3つの地域に分けて、言葉の出現頻度を分析した（表 4-14）。最も出現頻度が高い言葉は、表の青く示した言葉となり、東北では防災、阪神では地域・コミュニティ、東北阪神以外は災害となった。共通点としては、3つの地域で“防災”が上位に位置していることが挙げられる。このことから市町村は、コミュニティに防災活動を期待していると考えられる。他にも、災害・地域・コミュニティ・災害などの出現回数が多いが、これらはアンケートの回答における文章の主語になりやすい言葉であることから出現回数が多いと推測される。そのため、災害・復興時のコミュニティに期待することの回答として、重要な意味を持たないと判断した。共助や自助の言葉も出現回数が多いことから、市町村は市町村の力だけではなく、コミュニティ内での協力や個人の力に期待していることが読み取れる。

表 4-14 言葉の出現頻度

	東北		阪神		東北阪神以外	
	回答(市町村)	割合(%)	回答(市町村)	割合(%)	回答(市町村)	割合(%)
自助	9	9.4	9	18.8	36	8.3
共助	13	13.5	12	25.0	69	15.9
防災	19	19.8	12	25.0	93	21.4
災害	18	18.8	12	25.0	99	22.8
地域	13	13.5	14	29.2	63	14.5
コミュニティ	15	15.6	14	29.2	62	14.3
自主防災組織	8	8.3	2	4.2	42	9.7

図 4-27 に、災害・復興時コミュニティに期待すること（東北）を示す。カテゴリ間の線の太さから、自助と共助の結びつきが一番強いことがわかる。アンケートの結果からは、自助と共助の両方の力に期待する市町村が多く見られた。これらは東日本大震災時に市町村役場など公的な機関も被災しているため、すぐに救助や対策を立てることが出来なかったとの回答が多くあり、公助の出現頻度が低く自助と共助の結びつきが一番強くなったのではないかと考えられる。防災に着目すると、自主防災組織・自治会・コミュニティ・自助と強く結びついていることから、自主防災組織や自治会、コミュニティなどの組織と共に防災を考える必要性があることを示唆していると考えられる。また、市町村は防災について自助の力に期待していることから、各個人における日頃からの災害への備えや防災などへの知識の蓄積が必要であると考えていると思われる。災害に着目すると共助と強く結びついていることから、災害が発生すると個人の力だけではなく周りとの協力、つまり共助の力が重要になるのではないかと考えられる。また、災害と自助の結びつきは弱いことから、防災時には個人の備えが重視され災害が起きてからは 1 人ではできないことも多くあると考えられることから、共助の力に期待しているのではないだろうかと推察される。東北は東日本大震災という大きな災害の被害を多く受けたため、市町村の期待するコミュニティ像が明確である。また、東北の市町村の期待するコミュニティ像は、おおむね似ていることも自由記述アンケート結果からわかった。

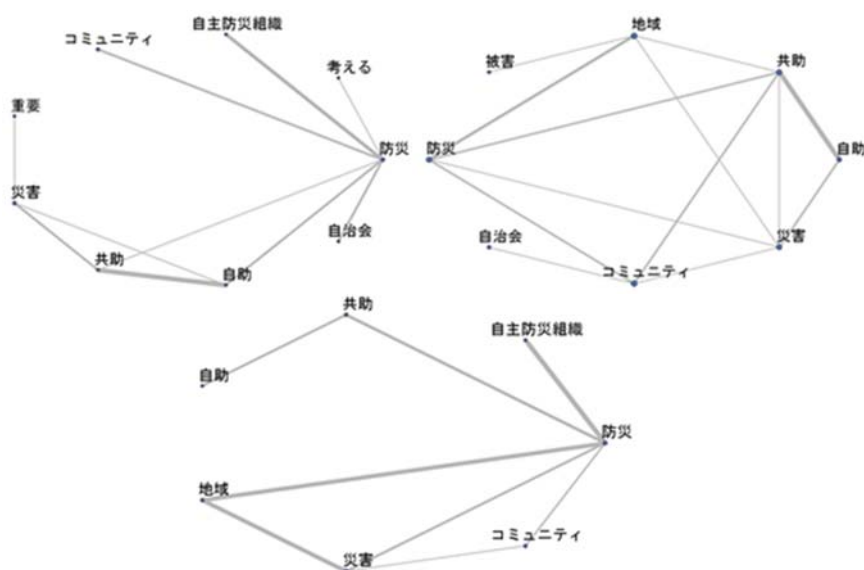


図 4-37 災害・復興時コミュニティに期待すること
(左上：東北、右上：阪神、下：東北阪神以外)

図 4-37 に、災害・復興時コミュニティに期待すること（阪神）を示す。こちら東北と同じく自助と共助の結びつきが一番強いことがわかる。防災に着目すると地域やコミュニティなどの組織と強く結びついている点は東北と同じだが、自助とは結びつかず共助と結びつくという異なる点が挙げられる。地域やコミュニティなどの組織と共に防災を考える必要性があり、共助の力に期待していることから地域やコミュニティ単位での防災活動に期待していることが読み取れる。災害に着目すると、東北とは異なり共助ではなく自助と強く結びついていることがわかる。また東北では見られなかったが、災害と防災も結びついている。日頃から防災活動に努め災害が起こったときには自助の力に期待していると考えることができる。以上のことから自助・共助の力に一番期待している点は東北と同じだが、防災や災害に着目してみると同じ点もあるが異なる点もあることがわかった。阪神・淡路大震災の経験から、災害時は市町村も被災しており機能しないことが考えられるため自分たちの力で初期活動をしてほしいという意見がアンケートの中からみられ、このような意見によって災害が共助ではなく自助と結びついたとも考えられる。

図 4-37 に、災害・復興時コミュニティに期待すること（東北阪神以外）を示す。東北阪神以外は、東北・阪神とは異なり自助と共助よりも地域と災害が一番強く結びついているという結果となった。防災に着目すると、地域や自主防災組織と結びつく点は東北・阪神と同様であり、全国的に防災に関しては地域・コミュニティ・自主防災組織などと連携して防災活動を広げる必要性があると考えていることが読み取れる。また、防災と自助よりも防災と共助との結びつきが強く、阪神と同様の結果となった。災害に着目してみると、地域・防災・コミュニティと結びついており、東北・阪神は災害と自助・共助が結びついていたものの、東北阪神以外ではどちらも結びつかない結果となった。このことから、東北阪神以外の回答から防災活動や災害時における地域やコミュニティ内での協力を期待していることが読み取れるものの、東北・阪神のように防災活動や災害という言葉と自助や共助という言葉は結びついていないことがわかった。アンケート結果をみても、地域の防災活動に期待するや地域の協力が必要など東北や阪神と比べて具体性のない回答が多く見られ、大きな災害を経験しているかどうかによって意識の差が生じているのではないかと考えられる。この意識の差を埋めることが、災害に強いまちづくりにつながっていくものと考えられる。

図 4-38 は、東北・阪神・東北阪神以外の 3 つの地域に分け回答者の散布図を作成し、コレスポンデンス分析から出現頻度の高かった自助・共助・地域・コミュニティ・自主防災組織・災害・防災の 7 つの言葉の散布図を作成し、これら 2 つを重ね合わせることでグルーピングした結果である。まず回答者の分布に着目すると、東北・阪神が似たような分布を示し比較的まとまっているのに対して、東北阪神以外は広く分布している傾向がある。これは東北・阪神は似たような回答が多く、東北阪神以外は様々な回答が存在することを意味していると推察される。コレスポンデンス分析は原点 (0.0) 近くに位置する行・列は特徴のない平均的なものであるため¹⁾、地域・コミュニティ・自主防災組織・災害・防災は原点に近いことから出現頻度が高いことを示している。自助・共助は他の言葉より出現頻度は低いものの、テキストマイニングの結果より自助・共助の結びつきは全国的に強いことが分かっている。コレスポンデンス分析の結果より近くに分布していることから、1 市町村の回答の中で自助か共助どちらかの力に期待する市町村よりも、自助・共助の 2 つの言葉を両方使っている市町村が多いことを示している。また、自助と共助を比べると共助の方がより回答者が多いところ（原点に近いところ）に分布していることから、共助の力の方がより期待されていることが推察される。特に、東北・阪神は共助の周りに多く分布していることから、大きな災害の経験から共助の力の大切さを感じていると推察される。

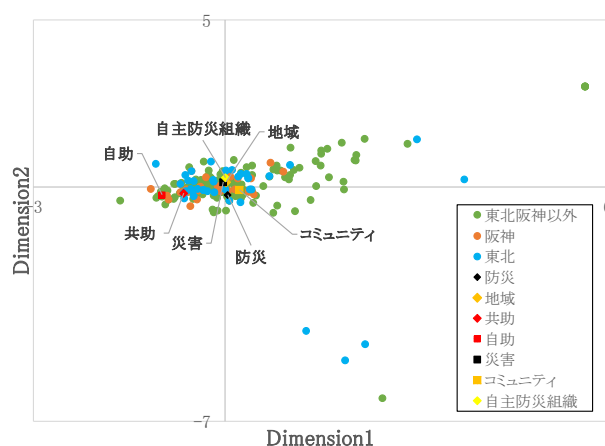


図 4-38 地域別回答者分布

2) 災害廃棄物の撤去・収集に地域の社会関係資本が果たす役割の分析

表 4-15 に分析結果を示す。結果から、市民による地震災害廃棄物管理の効率性は、質（技術や知識）の変化により向上し、この影響は稼働率（インフラや防災対策）の向上より大きいことが明らかになった。これらの質の向上は災害経験を通して改善され、復興時（災害数年後）も定着する一方で、インフラや防災対策などの稼働率は退化していくことが示された。以下に 3 つの知見をまとめる。

- 高災害ダメージを経験した地域では、災害時の協力やネットワーク構築を通して、地震災害廃棄物管理の稼働率が向上した。加えて、地震廃棄物管理の質（技術や知識）は、災害後に改善がみられた。このことから、地震災害廃棄物管理の質は、平時の協力行動、ネットワークづくり、SC の醸成の訓練を通して改善できると考えられる。
- 高災害ダメージを経験した地域において、最も効果的な協力者は、SC による。高年齢層グループが Linking メンバーと協力した場合、稼働率は向上する。また、低及び中年年齢層グループが bonding メンバーと協力した場合、稼働率は向上する。

ンバーと協力した場合、稼働率は向上する。高災害ダメージを経験した地域では、協力行動が地震災害廃棄物管理の効率性を改善する。強いリーダーシップや、協力行動を増やす動機付けは、効率性を改善する。

- SC が低い地域では、災害後、地震災害廃棄物管理の効率性が低下していた。市民は、協力やネットワーク形成の必要性を感じなかったと考えられる。すべてのコミュニティは、災害前に SC の伸長を図ることにより、地震災害廃棄物管理のより良い準備を行うことができると推察された。
- 次に、Super-efficiency モデルの計測結果を表 4-16 に示す。災害後には、高 bonding 及び、高 linking ネットワークグループが形成され、地震災害廃棄物管理に効率的なグループになることが分かった。中でも、Linking ネットワークは最も効率的なネットワークであった。

表 4-15 地震災害廃棄物管理における Technical efficiency change (EC) と Technology change (TC)

Technical efficiency change (EC) a)										
	Cooperators	Collection			Separation			Transportation		
		DH	DM	DL	DH	DM	DL	DH	DM	DL
SCH	1	1.015	1.093	1	1	1	0.963	1.008	0.93	0.9
	2	1.069	1.056	1	1.039	1	0.998	1.021	1	0.937
	3	1.002	1.074	0.963	1	1	0.926	1	1	0.913
	4	1	1.006	0.937	1.007	1	0.935	1.008	0.987	0.931
	5	1.119	1.028	1.042	1.184	1.027	0.975	1.181	1.042	0.982
	6	1.033	1.015	0.938	1	0.999	0.891	1.017	1.066	0.936
	7	1.174	1.023	1.002	1.254	1.001	0.993	1.174	1.023	0.965
SCL	1	1	0.954	0.948	1.179	0.981	1	1	0.91	0.94
	2	1.005	0.954	0.948	1.116	0.973	1	1.099	0.946	0.944
	3	1.028	0.973	0.933	1.115	0.986	0.947	1.137	0.977	0.947
	4	1	0.905	0.908	1.093	0.949	0.98	1.058	0.979	0.908
	5	1	0.992	0.911	1	0.981	0.904	1	0.969	0.939
	6	1	0.952	0.893	1	0.979	0.951	1	0.968	0.95
	7	1	0.968	0.876	1	0.976	0.899	1	0.968	0.876

a)  EC>1.100

Technology change (TC) b)										
	Cooperators	Collection			Separation			Transportation		
		DH	DM	DL	DH	DM	DL	DH	DM	DL
SCH	1	1.21	1.139	1.056	1.284	1.257	1.157	1.324	1.283	1.18
	2	1.161	1.128	1.045	1.263	1.216	1.136	1.259	1.226	1.162
	3	1.222	1.17	1.113	1.301	1.248	1.241	1.263	1.251	1.214
	4	1.242	1.208	1.159	1.328	1.233	1.242	1.276	1.256	1.219
	5	1.119	1.169	1.081	1.208	1.243	1.16	1.144	1.156	1.116
	6	1.226	1.249	1.202	1.324	1.272	1.26	1.233	1.187	1.194
	7	1.189	1.21	1.13	1.16	1.207	1.148	1.213	1.21	1.186
SCL	1	1.153	1.115	1.097	1.221	1.174	1.098	1.273	1.195	1.15
	2	1.15	1.057	1.092	1.21	1.125	1.099	1.236	1.129	1.133
	3	1.143	1.048	1.071	1.275	1.161	1.143	1.179	1.103	1.124
	4	1.237	1.175	1.113	1.268	1.175	1.107	1.217	1.08	1.147
	5	1.122	1.042	1.121	1.187	1.102	1.171	1.138	1.044	1.104
	6	1.195	1.114	1.151	1.225	1.154	1.119	1.153	1.068	1.107
	7	1.118	1.097	1.161	1.179	1.104	1.169	1.132	1.083	1.161

b)  EC>1.100

Malmquist Index										
	Cooperators	Collection			Separation			Transportation		
		DH	DM	DL	DH	DM	DL	DH	DM	DL
SCH	1	1.228	1.245	1.056	1.284	1.257	1.114	1.335	1.193	1.062
	2	1.241	1.192	1.045	1.313	1.216	1.133	1.286	1.226	1.089
	3	1.224	1.256	1.072	1.301	1.248	1.15	1.263	1.251	1.109
	4	1.242	1.215	1.086	1.338	1.233	1.162	1.286	1.239	1.136
	5	1.252	1.202	1.126	1.43	1.277	1.131	1.352	1.206	1.095
	6	1.266	1.268	1.128	1.324	1.271	1.122	1.255	1.265	1.117
	7	1.396	1.238	1.132	1.455	1.208	1.14	1.424	1.237	1.144
SCL	1	1.153	1.063	1.04	1.439	1.151	1.098	1.273	1.087	1.081
	2	1.156	1.008	1.035	1.35	1.095	1.099	1.358	1.068	1.069
	3	1.175	1.019	0.999	1.422	1.145	1.083	1.341	1.078	1.065
	4	1.237	1.063	1.011	1.386	1.116	1.085	1.288	1.056	1.042
	5	1.122	1.034	1.022	1.187	1.081	1.059	1.138	1.012	1.037
	6	1.195	1.061	1.028	1.225	1.13	1.065	1.153	1.034	1.052
	7	1.118	1.062	1.017	1.179	1.077	1.051	1.132	1.049	1.017

Legend:

SC classes

SCH: high

SCL: low

Disaster damage classes

DH: high

DM: medium

DL: low

Cooperators

1: No cooperator (Base line)

2: Families and relatives

3: Neighbors

4: Friends and acquaintances

5: Volunteers from external regions

6: Local governmental agencies

7: Governmental agencies from external regions

表4-16 Super-efficiencyモデル結果

ネットワークグループ	内訳	収集	分別	運搬
高 bonding	Bonding	1.000	0.784	0.784
	Bridging	0.977	0.930	0.931
	Linking	1.172	1.000	1.000
高 linking	Bonding	1.000	0.946	1.000
	Bridging	0.962	0.957	0.964
	Linking	1.022	1.022	1.022
高ネットワーク	Bonding	0.875	0.843	0.843
	Bridging	0.885	0.885	0.885
	Linking	0.987	0.987	0.987

Super efficiency
Efficiency

(1) 収集

高 bonding グループ及び高 linking グループの bonding ネットワークと Linking ネットワークが効率的であることが明らかになった。このことから、危険物の収集や生活スペースを確保するための収集は、家族、近所の人や行政が関与すると効果的であることが分かった。中でも、高 bonding グループの Linking ネットワークが *super efficiency* であった ($\theta=1.172$)。さらに、高 linking グループの linking ネットワークが *super efficiency* であった ($\theta=1.022$)。このことから、災害後は、若年層の男女及び高齢層の男性には、行政や他地域からの協力者による収集支援があるとより効率的になることが推察された。

(2) 分別

高 bonding グループ及び高 linking グループの Linking ネットワークが効率的であることが明らかになった。このことから、危険物の分別や個人物の分別には、行政や他地域からの協力者が関与すると効果的であることが分かった。中でも、高 linking グループの linking ネットワークが *super-efficiency* であった ($\theta=1.022$)。このことから、災害後は、若年層及び高齢層の男性には、行政や他地域からの協力者による分別支援があるとより効率的になることが推察された。

(3) 運搬

高 bonding グループ及び高 linking グループの Linking ネットワークが効率的であることが明らかになった。このことから、危険物の運搬や生活スペースを確保するための運搬は、行政や他地域からの協力者が関与すると効果的であることが分かった。中でも、高 linking グループの linking ネットワークが *super efficiency* であった ($\theta=1.022$)。このことから、災害後は、若年層及び高齢層の男性には、行政や他地域からの協力者による運搬支援があるとより効率的になることが推察された。

本分析では、災害後には、高bonding及び、高linkingネットワークグループが形成され、これらはすべてのSCネットワークが高いグループより、地震災害廃棄物管理に効率的なグループになることを明らかにした。災害後は、若年層の男女や高齢層の男性による、SCネットワークを活用した地震災害廃棄物管理の効率性は高くなるが、中年層の効率性は低かった。災害後に女性の中年層は豊かなSCネットワークを形成しているにもかかわらず、効率性は低かった。中年層は災害後の廃棄物管理を自ら行うことが多く、SCネットワークを十分に活用できていないとも考えられる。よって、SCネットワークを活用した情報伝達などの災害廃棄物管理支援を検討していくことが有用である。

高bondingと、高linkingネットワークグループのLinkingネットワークは、最も効率的なネットワークであった。災害後、若年層の男女及び高齢層の男性には、行政や他地域からの協力者による支援があると、地

震災廃棄物管理がより効率的になり、収集行動でその影響が高いことが分かった。そのため、災害初動時の自宅周辺の危険物の収集や、復旧時における生活スペース確保のための廃棄物収集にも、行政や地域外からの協力者による支援を用意していくことが有用である。

市民のSC分布は、高SCグループが4.61%、中SCグループが52.1%、低SCグループが43.3%と、大多数は中及び低SCグループであった。各グループを構成する市民の年代内訳を図4-39に示す。高SCグループは、60歳代以上45.8%と高齢層が特徴的である。中SCグループは、30歳代17.0%、40歳代18.1%、50歳代21.8%である。低SCグループは、20歳代28.0%、30歳代24.9%と若年層が特徴的である。

Super-efficiencyモデルによる推計結果を表4-17に示す。災害時のSCネットワーク関与は、災害後のSCの改善に影響し、中及び低SCグループの地震災害廃棄物管理の効率性改善に役立つことが分かった。また、災害時のSCネットワークの影響は災害後も定着し、地震災害廃棄物管理の効率性を向上させることが分かった。最も効率的なSCネットワークはLinking ネットワークであった。収集行動では、特にBonding、Bridging、Linkingネットワークすべてが効率性向上に影響していた。一方、分別行動では、Linkingネットワーク、運搬行動ではBonding及びLinkingネットワークが効率性向上に影響していた。このことから、今後の地震災害廃棄物対策には、平時から中年層及び若年層のSCネットワークを醸成し、市民が地方自治体や政府機関と協力する体制を整えるとともに、市民が家族・親戚・近隣住民と協力する収集計画及び運搬計画が有用である。また、地域を超えた友人・知人と協力する収集計画も有用である。



図4-39 SCグループ内訳

表4-17 Super-efficiencyモデル結果

		収集			分別			運搬		
SC	SCネットワークによるSC改善度	Bonding	Bridging	Linking	Bonding	Bridging	Linking	Bonding	Bridging	Linking
H	H	0.843	0.798	0.764	0.723	0.768	0.850	0.793	0.810	0.804
	M	1.000	0.756	1.000	0.711	0.911	0.805	0.767	0.984	1.000
	L	1.000	1.000	1.301	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.201
M	H	1.083	1.170	0.909	0.858	0.853	0.892	1.118	0.979	0.879
	M	1.024	1.006	0.962	0.895	0.891	0.887	0.985	0.917	0.877
	L	1.083	1.026	1.047	0.941	0.912	0.977	1.078	0.921	1.193
L	H	1.157	1.100	1.507	1.068	1.097	1.487	1.059	1.096	1.334
	M	0.972	0.963	0.971	0.986	0.974	0.973	1.018	0.965	0.975
	L	1.281	1.290	1.271	1.281	1.290	1.271	1.281	1.290	1.271
平均		1.049	1.012	1.081	0.940	0.966	1.016	1.011	0.996	1.059

Super-efficiency

SCネットワークと情報提供の関係性に着目し、地震災害廃棄物管理量を推計した結果を図4-40に示す。結果の分析には、20%以上収集可能な市民割合に着目する。災害初動期（約3～4日）が、情報提供の影響が一番高いことが分かった。災害初動期に最も影響が高いSCネットワークは、Bondingネットワークであった。非公式な仮置場の回収情報を与えた場合は、収集率が平均7.5%向上した。Bondingネットワークメンバーと協力した場合は、8.2%、bridgingメンバーと協力した場合は7.1%、Linkingメンバーと協力した場合は7.4%の増加が推計された。応急復旧期（約1～2か月）に最も影響が高いSCネットワークは、Bondingネットワークであった。公式な仮置場の回収情報を与えた場合は、収集率が平均6.7%向上した。Bondingネットワークメンバーと協力した場合は、7.1%、bridgingメンバーと協力した場合は7.0%、Linkingメンバーと協力した場合は6.0%の増加が推計された。復旧期（約1年）に最も影響が高いSCネットワークは、Linkingネットワークであった。廃棄物処理施設の回収情報を与えた場合は、収集率が平均5.9%向上した。Bondingネットワークメンバーと協力した場合は、5.1%、bridgingメンバーと協力した場合は5.5%、Linkingメンバーと協力した場合は7.1%の増加が推計された。

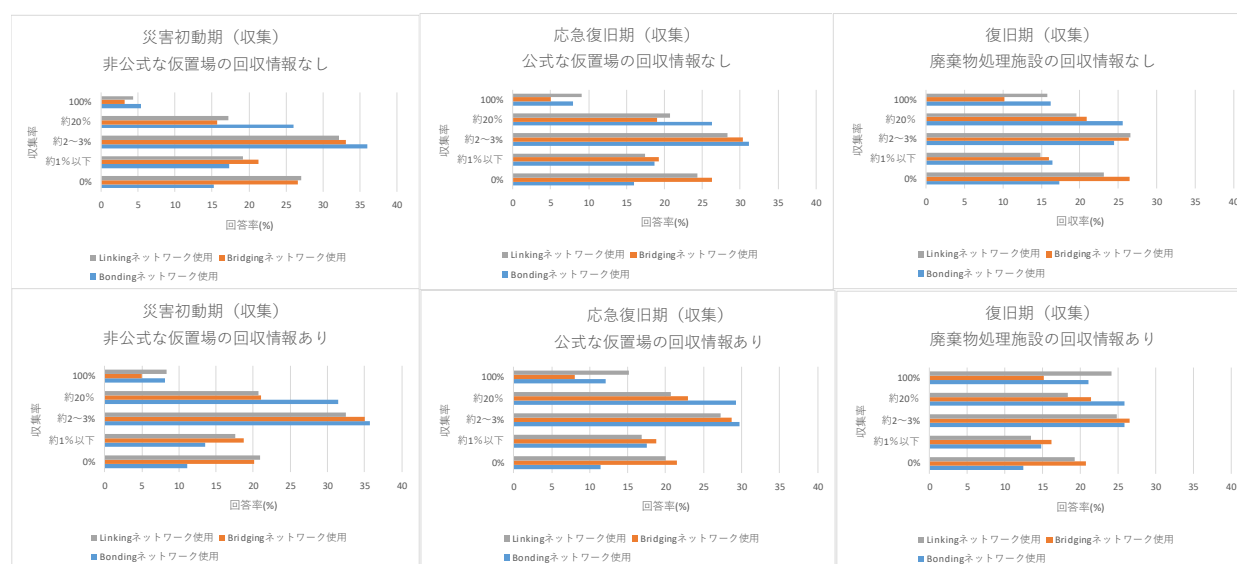


図4-40 情報提供とSCネットワークを活用した地震災害廃棄物管理

3) 将来発生しうる災害廃棄物の広域処理受け入れに関する住民意識の分析

a 災害廃棄物の受け入れ意思と回答者属性との関連性

図4-41に、「災害廃棄物の受け入れ意思」の回答結果を示す。「分別されている災害廃棄物」は、「受け入れたい」、「受け入れてもいい」を合わせた回答が約56%と過半数を超えていた。一方、「分別されていない災害廃棄物」と「有害物質が付着した災害廃棄物」は、「受け入れたい」、「受け入れてもいい」の回答が少なくなり、逆に、「受け入れたくない」、「絶対受け入れたくない」の回答が多くなっていった。これらの結果は既報⁷⁾での調査結果と同様であり、災害廃棄物の分別は受け入れ意思に大きく影響することが伺えた。

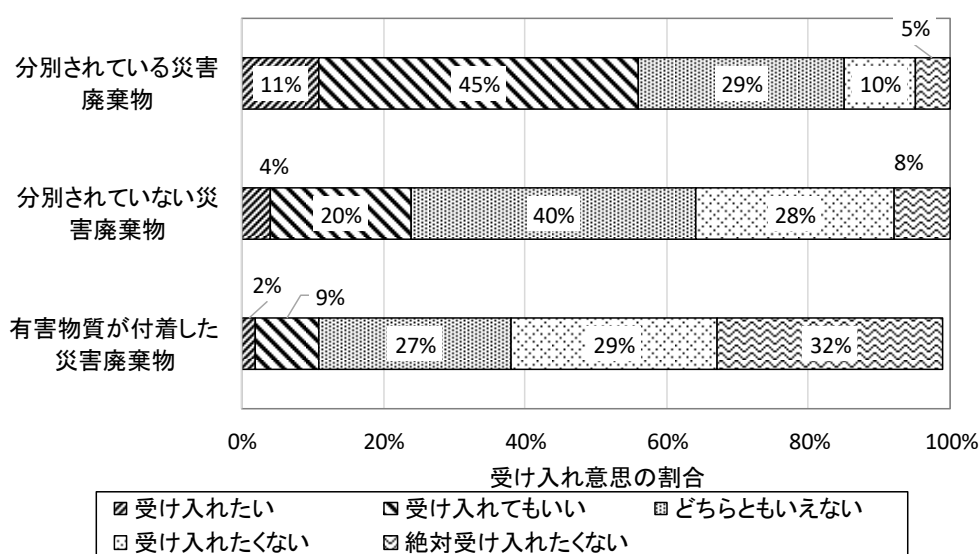


図 4-41 災害廃棄物の受け入れ意思

表 4-18 に、(1)、(2)-②、(2)-③の各質問項目の平均スコアを示す。表中のアスタリスクは、各質問項目について、有意水準 1%でスコアの有意差が確認された項目である。ごみ処理に関する基礎知識のような他の質問項目は、有意な結果とはならなかった。項目(1)の結果については、図 4-41 と同様の結果となっている。但し、分別の有無((1)-①と(1)-②)は結果の比較は可能であるが、これらの有害物質の付着((1)-③)は次元が異なるため、一概に比較することは困難である。しかしながら、有害物質の付着による抵抗感が極めて大きいことは、この結果から伺える。項目(2)-②の「災害廃棄物の安全性提示の主体」については、行政や政府と関係府庁よりも、学識経験者、海外の研究機関等の第三者からの提示の方が安心できると考えていることが伺える。井元²⁾が、東日本大震災における広域処理受け入れ自治体における住民説明会での住民意見の分析を行った結果では、法律や基準に関する質問について、行政に対する不信が有意に表れていた。今回の結果でも、回答者は行政に対してある種の不信感を持っていることが伺えた。その一方で、項目(2)-③の「災害廃棄物の分別を行う主体」については、行政が主導して行うべきであるという考えが伺えた。

表 4-18 主要な本質問の平均スコア

		平均値 ^注 (標準偏差)
(1) 災害廃棄物の種類	① 分別された災害廃棄物	3.47** (0.97)
	② 分別されていない災害廃棄物	2.83** (0.97)
	③ 有害物質が付着した災害廃棄物	2.19** (1.05)
(2)-②災害廃棄物の安全性を提示する主体	(a) 「行政」や「政府と関係省庁」から	2.91** (0.88)
	(b) 「学識経験者」や「大学等の研究機関」等の第三者から	3.13** (0.85)
	(c) 「海外の研究機関」や「何かしらの国際基準」から	3.17** (0.85)
(2)-③災害廃棄物の分別を行う主体	(a) 役所(役場)が主導で行うべき	3.55** (0.78)
	(b) ボランティアが主導で行うべき	2.63** (0.81)
	(c) 市民が主導で行うべき	2.81** (0.83)

**p<.01

^注 平均値は、各調査項目に対応する尺度(1点から5点まで)の平均を表す。

表 4-19 に、本質問の項目(1)と個人属性、本質問の項目(2)のクロス集計を行った結果を示す。表中のアスタリスクは、有意水準 1%もしくは 5%でスコアの有意差が確認された項目である。結果として、「性別」、「居住形態」、「「ごみ処理施設に見学に行った経験の有無」、「地域に災害廃棄物処理計画の策定の有無」と「年齢」による統計的な有意差がみられた。たとえば、年齢層別でみた災害廃棄物の受け入れ意思は、「分別された災害廃棄物」の場合は年齢に応じて高くなり、「有害物質が付着した災害廃棄物」の場合は年齢に応じて低くなった。「分別されていない災害廃棄物」については有意差を確認することができなかった。このことから、若年齢層よりも中高年層の方が、分別されているのであれば受け入れる傾向があること、その一方で、有害物質の影響に強い関心も持っている傾向があることが伺えた。お住まい形態別の受け入れ意思については、「分別されていない廃棄物」、「有害物質が付着した災害廃棄物」に対する持家の回答者は、賃貸・その他よりも受け入れ意思が低くなった。持家の回答者は、災害廃棄物の環境影響などに対する心配について高い傾向がみられる。また、普段から、生活ごみや災害廃棄物処理に関心がある住民ほど受け入れ意思も高くなる傾向がみられた。松本・原科³⁾は、住民の廃棄物問題の認知は日頃の廃棄物問題に対する関心の高さによって左右されることを示している。また、ごみ処理施設の見学により、環境意識の向上につながった結果を示した研究⁴⁾や、施設の見学は市民の施設に対する心配、反対を大きく減少させる効果があることを明らかにした研究⁵⁾も見られた。しかし、見学による意識改善効果が持続しない(年とともに薄れる)という傾向もみられた。災害廃棄物に対する関心を高めるには、積極的に情報の発信を継続することが不可欠であると考えられる。職業との関係性については、石村・竹内⁶⁾は東日本大震災における自治体別での災害廃棄物の受け入れに関する影響要因を評価しているが、農業従事者が多い自治体ほど受け入れに消極的であった。今回の調査では、農林漁業の従事者の受け入れ意思は他の職業との有意な差がみられなかった。しかし、農林漁業の従事者は他の職業に比べて回答者が極めて少なく、これが結果に影響を与えていると考えられる。職業を考慮した評価は、今後の課題である。

表 4-19 災害廃棄物の種類に関するクロス分析の結果

		回答者数	分別された 災害廃棄物	分別されてい ない災害廃棄物	有害物質が付着 した災害廃棄物
			平均値(標準偏差) ^{注)}		
性別	男性	1,030	3.49 (0.99)	2.91** (1.00)	2.27** (1.09)
	女性	975	3.45 (0.95)	2.75** (0.92)	2.12** (1.01)
職業	農林漁業	21	3.52 (1.17)	2.24 (1.00)	2.24 (1.00)
	その他	1,984	3.47 (0.97)	2.83 (0.96)	2.19 (1.05)
居住形態	持家	1,541	3.48 (0.97)	2.80** (0.96)	2.14** (1.04)
	賃貸・その他	491	3.47 (0.98)	2.93** (0.97)	2.37** (1.07)
お住まい地域にごみ処 理施設の有無	あり	815	3.71** (0.93)	2.95** (1.00)	2.18 (1.07)
	なし	598	3.42** (1.00)	2.75** (0.97)	2.09 (1.06)
災害廃棄物処理計画の 策定	策定されている	143	3.64** (1.02)	3.00** (1.10)	2.36 (1.14)
	策定されていない	284	3.11** (1.12)	2.67** (1.01)	2.20 (1.08)
ごみ処理施設に見学に 行った経験	あり	679	3.69** (0.93)	2.91* (1.02)	2.13 (1.09)
	なし	987	3.50** (0.97)	2.81* (0.96)	2.14 (1.03)
年齢	20代	312	3.15** (1.10)	2.76 (1.02)	2.27** (1.05)
	30代	420	3.39** (0.96)	2.88 (0.98)	2.29** (1.05)
	40代	474	3.50** (0.97)	2.88 (1.00)	2.22** (1.10)
	50代	353	3.52** (0.91)	2.82 (0.89)	2.16** (1.05)
	60代	446	3.71** (0.86)	2.80 (0.93)	2.05** (0.99)

** $p < .01$, * $p < .05$

注1) 平均値は、各調査項目に対応する尺度(1点から5点まで)の平均を表す。

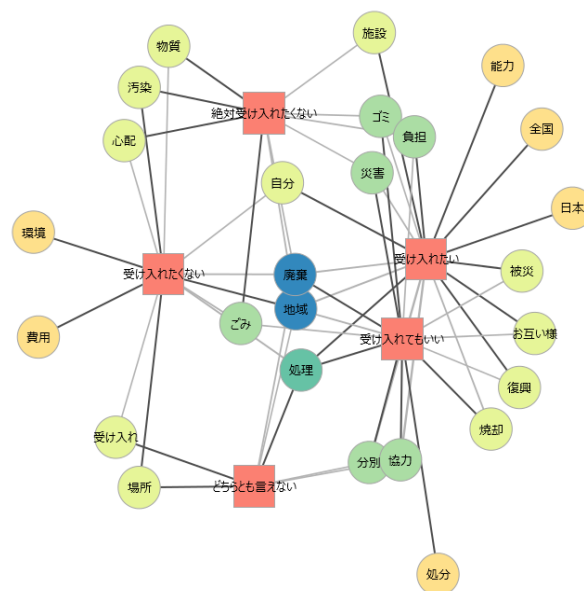
b 自由記述欄のテキストマイニングによる解析結果

まず、形態素分析を行った結果として、自由記述による回答のうち、無回答を除いた1,908件から、20回以上出現があった品詞を表4-20に示す。頻出語には広域処理を指示するあるいは指示しない様々な品詞がある。特に、放射性物質に関する頻出語が多い。これは、本質問で放射性物質を例示したために、回答者がそれにつられて回答した可能性が考えられる。

表 4-20 形態素分析の結果(頻出語 20 回以上)

形態素	頻度	形態素	頻度	形態素	頻度
処理	284	場所	57	施設	32
物質	170	基準	56	処分	32
影響	124	放射	54	協力	30
廃棄	118	範囲	53	確保	28
地域	114	負担	53	費用	25
受け入れ	86	放射能	51	確認	24
人体	82	無い	48	検討	24
能力	79	住民	47	放射線	23
環境	69	自治体	46	ゴミ	22
汚染	67	判断	39	程度	22
分別	67	問題	37	方法	22
被害	66	被災	36	説明	21
災害	64	有無	34	発生	21
自分	57	生活	33	悪影響	20

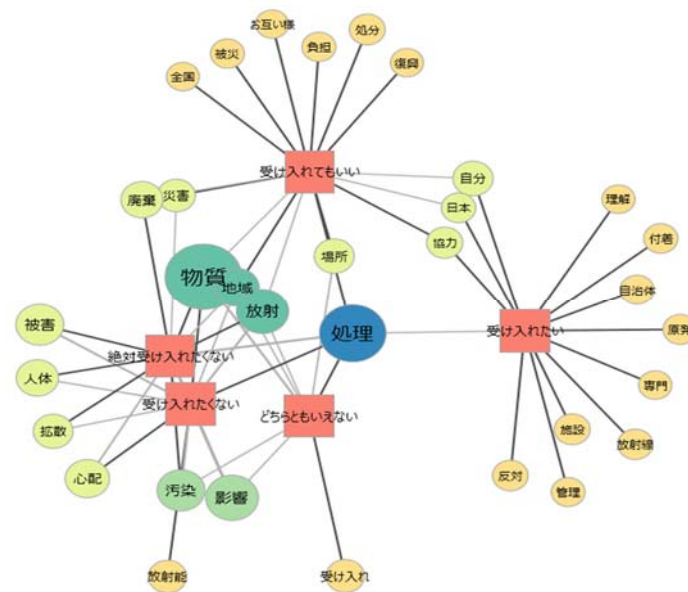
続いて、本質問の項目(1)の受け入れるもしくは受け入れないと回答した理由について、共起ネットワーク分析を行った結果を図4-42に示す。図4-42(a)からは、受け入れ賛成の意思を示す回答の中に「分担」「施設」「能力」「焼却」等の廃棄物処理を連想させるキーワードがみられた。また、「復興」「全国」「お互い様」といった、協力を連想させるキーワードがみられた。前者に関連する自由記述としては、「国内の災害廃棄物は、各都道府県で分担すべきだと思う。」、「有害物質がなく、焼却可能な物。」、「住んでいる地域の処理能力を考える。」等があった。後者に関連する自由記述としては、「災害をみんなで共有したほうが早く復興出来ると思うから。」、「全国各自治体一律公平に。」、「困ったときはお互い様。」等があった。図4-42(b)からは、受け入れ賛成の意思を示す回答には「放射線」「原発」「付着」等の放射性物質を連想させるキーワードがみられるものの、「負担」「施設」「処分」「管理」等の受け入れに関わるキーワードもみられた。前者に関連する自由記述としては、「放射線の不安。」、「放射線はだめ。」、「原発は反対なので放射性廃棄物は絶対受け入れたくない。」、「健康被害が有るような気がする、原発関連以外なら良いと思う。」等があった。後者に関連する自由記述としては、「全国民で負担を分かち合う。」、「受け入れる施設が有害物質が付着した災害廃棄物を安全に確実に処理できる能力があるかどうか。」、「必ず環境や生命維持の障害にならないよう管理できること。」等があった。



(a) 分別されている災害廃棄物

図4-42 共起ネットワーク図(受け入れる理由/受け入れない理由)

注釈：出現数の多い品詞ほど、円は大きくなる。また、Jaccard 係数で測定した共起の程度に応じて、共起関係を表す線も太くなる。Jaccard 係数が概ね 0.2 以上の場合は太い線、0.2 未満の場合は細い線で表される。



(b) 分別されていない災害廃棄物

図 4-42 共起ネットワーク図(受け入れる理由/受け入れない理由)(続き)

注釈：出現数の多い品詞ほど、円は大きくなる。また、Jaccard 係数で測定した共起の程度に応じて、共起関係を表す線も太くなる。Jaccard 係数が概ね 0.2 以上の場合には太い線、0.2 未満の場合には細い線で表される。

図 4-43 に、災害廃棄物の「受け入れの判断基準」について共起ネットワーク分析を行った結果を示す。結果として、(i)「人体」「影響」「環境」「悪影響」、(ii)「処理」「能力」「範囲」「自治体」「施設」、(iii)「地域」「住民」「負担」「費用」、(iv)「放射能」「汚染」「物質」「放射」という語の 4 つのグループで、強い共起関係がみられた。この結果から、生活や健康の観点から放射線の悪影響に強い関心を示す回答者がいることが伺えた。また、地域内でどれくらいまでなら処理可能か等を考慮して、受け入れの判断をしている回答者もいることが示唆された。このような判断を裏付ける自由回答としては、「処理をする施設の能力と容量がちゃんと適しているか。」「各都道府県の受け入れに対する処理施設の有無に対する公平性（量・廃棄物の内容など）。」「地域で処理可能なもの。量的に多くてもよいが、質的には拘るべき。」等があった。

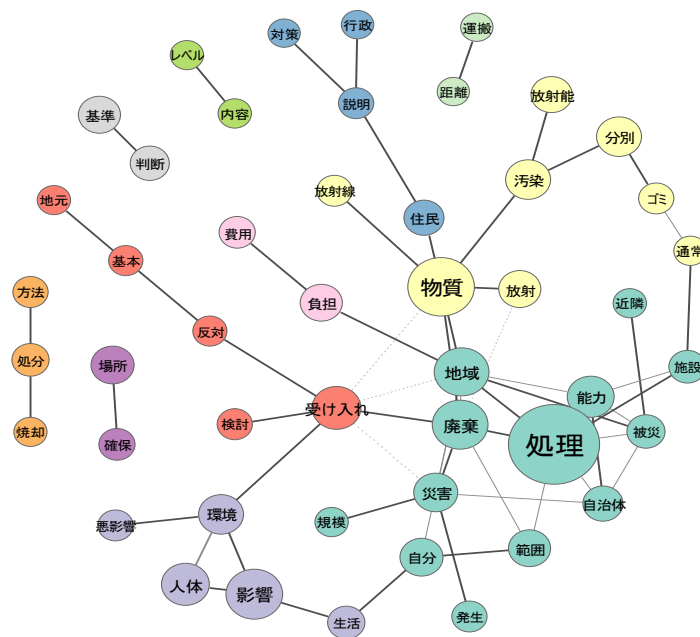


図 4-43 共起ネットワーク図(受け入れの判断基準)

注釈：図の見方は図 4-42 と同じである。破線は、異なるグループではあるが、ネットワークとして結ばれる語があることを示している。

図 4-44 に、本質問の項目(3)の判断基準と本質問の項目(1)の「有害物質が付着した災害廃棄物」をクロス分析した結果を示す。結果として、受け入れに賛成の意思を示す回答者の頻出語の中に、「条件」、「コスト」「基準」「判断」「規模」といった受け入れの条件を示すようなキーワードがみられた。このような判断を裏付ける自由回答としては、「放射性物質に汚染されていない事が絶対条件。」、「各種有害物質の基準をクリアしていること。各自治体の基準に合わせて分別されていること。」、「規模や期間等の計画が適切に説明されること。」等があった。これらの回答者は、条件付きで受け入れに対して賛成していることが示唆された。

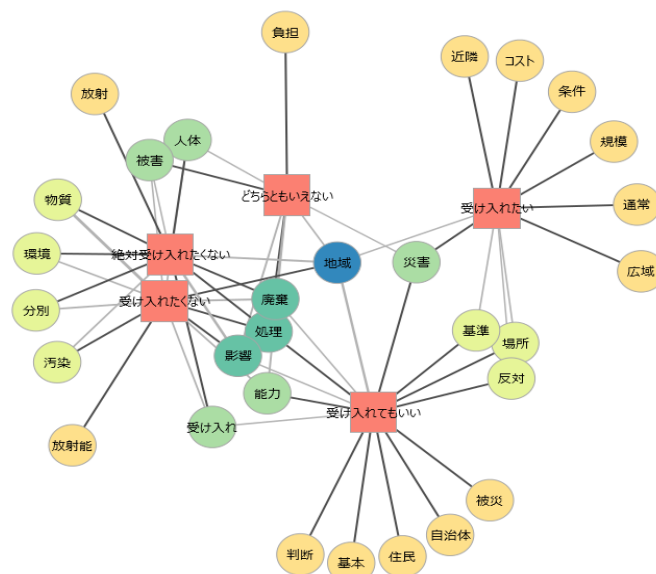


図 4-44 共起ネットワーク図(受け入れの判断基準：有害物質が付着した災害廃棄物とのクロス分析)

注釈：図の見方は図 4-42 と同じである。

Slovic⁷⁾は、住民のリスク認知要因は、おそろしさ(制御できない、大事故に繋がる等)と未知性(よくわからない、新しいリスク等)の 2 つの因子から説明できることを示している。図 4-42 でみられた結果やこれに関する自由回答からは、放射性物質から連想されるおそろしさや、分別されていない未知の廃棄物を受け入れる未知性の感情を読み取ることができる。このことから、回答者は、リスクを考えながら、災害廃棄物の受け入れに対する判断に対する回答をしていることが伺える。また、図 4-42 の結果より、分別によって災害廃棄物の内訳を明確にすることで、有害物質の混入に対する不安が軽減することが読み取れる。これらのことから、広域処理の実施においては、被災自治体は分別を徹底するとともに、受け入れを依頼する廃棄物の安全性等に関する適切な情報提供を受け入れ自治体に行うこと、受け入れ自治体は地域内の住民に対して徹底的な情報公開を行うことにより、住民に安心感を与えることが重要であることが示唆された。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

- 都市に存在する住居ストックや人口等のデータをもとに、どの自治体でも人工資本ストックの損失量が推計できる汎用的な方法を提案した。本方法を用いて、人工資本ストックの損失量を推計するとともに、沿岸部の撤退による津波由来のストックの損失抑制等に係る対策を検討することが可能な基礎的知見を得た。
- 地域住民が考える森林資源の価値に関する調査を行うことで、発災に伴う森林被害の発生面積、被害金額を検討することが可能な基礎的知見を得た。
- 津波に伴う災害廃棄物の外洋流出量を推計することで、津波被害を踏まえた災害廃棄物の発生量やその組成を検討することが可能な基礎的知見を得た。
- LCA、LCC の各方法を応用し、災害廃棄物の撤去、輸送、処理を一つのシステムとして統合化し、環境面・経済面の評価が可能な方法を提案した。また、評価を実施するための汎用性のあるデータを整理

した。本方法を用いることで、災害廃棄物処理を検討する際には特に都市域大気汚染への対応が必要であることを示した。

- アンケート調査に基づき、災害廃棄物の収集・分別・運搬と社会関係資本の関係性を検討することが可能な基礎的知見を得た。
- アンケート調査に基づき、広域処理の受入自治体に居住する住民が、どのような災害廃棄物であれば受入に前向きに検討するかを分析することが可能な基礎的知見を得た。

(2) 環境政策への貢献

- 自治体における将来の人口減少・住宅ストック等を考慮した人工資本ストック量の推計モデルは、発災に伴う人工資本ストックの損失量の現状把握や将来推計に貢献できる可能性がある。
- 自治体における将来の人口減少・住宅ストック等を考慮した人工資本ストック量の推計モデルは、津波被害地域からの撤退や耐震化等の対策による廃棄物発生抑制効果の試算に貢献できる可能性がある。
- 森林被害の推計モデルは、発災に伴う自然資本ストックの損失量および被害価値の現状把握に貢献できる可能性がある。
- 津波被害を考慮した災害廃棄物発生量の推計モデルは、被害の程度を考慮した災害廃棄物の収集量や処理経費の推計に貢献できる可能性がある。
- 災害廃棄物処理システムの環境的・経済的評価モデルは、地方公共団体の災害廃棄物処理計画の作成やフィジビリティの評価に貢献できる可能性がある。
- 防潮施設の改修有無による災害廃棄物発生量の推計結果は、災害廃棄物の発生抑制を考慮した防潮施設の改修計画に貢献できる可能性がある。
- 災害廃棄物の撤去・運搬に地域コミュニティが果たす役割の検討結果は、発災直後の自治体と地域コミュニティとの自助・共助による協力体制の構築方法の検討に貢献できる可能性がある。
- 広域処理受入地域の住民感情の評価は、広域処理の受入自治体が住民とリスクコミュニケーションを実施する際の情報提供に貢献できる可能性がある。

<行政が既に活用した成果>

- 三重県志摩市の環境基本計画策定委員会における環境基本計画策定にかかる検討において、本研究成果である、発災に伴う都市における人工資本ストック損失量の推計モデルの試算結果を提示し、環境基本計画策定委員会の答申作成に貢献した（平成 28 年度志摩市環境基本計画 p 54 において、災害廃棄物処理計画に基づく防災機能の強化に関する記述がなされた。）

<行政が活用することが見込まれる成果>

- 人工資本ストック量の推計モデルは地理情報システムソフトウェア（有償もしくは無償）、無償で提供されている地理情報データを組み合わせることで実施可能であり、これを利用することで、津波被害地域からの撤退や耐震化等の対策による廃棄物発生抑制効果の試算が可能である。
- 発災に伴う自然資本ストックの損失量および被害価値の現状把握、その抑制対策を検討することが可能である。
- 災害廃棄物処理システムの環境的・経済的評価モデルは、地方公共団体の災害廃棄物処理計画の作成やフィジビリティの評価に貢献できる可能性がある。
- 防災だけでなく、発災後の災害廃棄物の撤去等の観点から、地域に存在する町内会や自治会の存在意義の見直し、地域住民の繋がり維持に係る町内会や自治会のあり方を検討することができる。

6. 国際共同研究等の状況

1) 川本清美(共同研究者)

Dr. Karl Kim (University of Hawaii at Manoa, Department of Urban and Regional Planning 教授/ National Disaster Preparedness Training Center センター長)との共同研究のもと、「ソーシャル・キャピタルと地震災害廃棄物管理」について複数本の論文発表及び、学会発表を行った。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) 大西暁生, 前崎隆一: オブジェクト分類手法による詳細土地被覆情報の取得と地表面温度の再現性に関する研究, 土木学会論文集 G(環境) Vol.70, No.5, pp. I_59-I_69, 2014.
- 2) 川本清美: メディアが若年層の地域地震防災行動形成に与える影響構造分析, 社会技術研究論文集, Vol.12, pp.43-50, 2015.
- 3) Tabata, T., Zhang, O., Yamanaka, Y., Tsai, P.: Estimating present and future outlook for potential disaster waste generation using consumer durables, Proceedings of the 10th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, SDEWES2015.0877, 1-11, 2015.
- 4) 田畑智博, 張 欧, 山中優奈, 蔡 佩宜: 統計・ウェブ情報を用いた耐久消費財由来の災害廃棄物発生原単位の推計とその利用, 土木学会論文集 G(環境), Vol.71, pp.II_441-II_449, 2015.
- 5) Tabata, T. and Tsai, P.: Heat Supply from Municipal Solid Waste Incineration Plants in Japan: current situation and future challenges, Waste Management & Research, Vol.34, No.2, pp.148-155, 2016. (IF: 1.526)
- 6) 水野怜那, 佐尾博志, 大西暁生: 神奈川県における浸水発生に適応した住宅の再配置による被害額の軽減効果, 水文・水資源学会誌, Vol. 28, No. 5, pp.245-260, 2015.
- 7) 川本清美: 地震災害時の地域内共助行動に影響するソーシャル・キャピタルシミュレーション, 地域学研究, Vol.45, No.3, 293-304, 2015.
- 8) Tabata, T., Zhang, O., Yamanaka, Y., Tsai, P.: Estimating potential disaster waste generation for pre-disaster waste management, Clean Technologies and Environmental Policy, Accepted. (1.934)
- 9) Kawamoto, K. and Kim, K.: Social Capital and Efficiency of Earthquake Waste Management in Japan, International Journal of Disaster Risk Reduction, Vol.18, pp.256-266, 2016. (IF:1.509)
- 10) 大西暁生: 鬼怒川の浸水想定区域を対象とした水害廃棄物発生量の推計, 計画行政, Vol.39, No.4, pp.33-44, 2016.
- 11) Tabata, T., Wakabayashi, Y., Tsai, P., Saeki, T.: Environmental and economic evaluation of pre-disaster plans for disaster waste management: Case study of Minami-Ise, Japan, Waste Management, Vol.61, pp.386-396, DOI: 10.1016/j.wasman.2016.12.020, 2017. (IF:3.829)

- 12) Inaba, T., Tabata, T., Tsai, P.: Development of a Basic Rate of Household Energy Consumption Considering Usage Time and Quantity of Consumer Durables, *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, accepted.
- 13) 蔡 佩宜, 田畑智博, 白川博章: 将来発生しうる災害廃棄物の広域処理受け入れに関する住民意識の分析: リスクコミュニケーション実施時における判断材料としての利用を想定して, 都市清掃, accepted.
- 14) 前田真佐樹, 大西暁生: 静岡県西部地域における災害廃棄物の発生量の把握とその対策による軽減効果の検討-南海トラフ巨大地震のケース-, 土木学会論文集 G, accepted.
- 15) Tabata, T., Wakabayashi, Y., Tsai, P., Saeki, T.: Environmental and economic evaluation of disaster waste management, *Chemical Engineering Transactions*, accepted. (IF:0.82)

<その他誌上発表(査読なし)>

- 1) 田畑智博, 小田実紀, 宮本一毅, 蔡 佩宜, 片桐恵子: 超高齢社会に対応した廃棄物処理システムのあり方に関する考察, *日本 LCA 学会誌*, Vol. 12, No. 4, pp. 243-251, 2016.
- 2) Masayuki Sato, Runsinarith Phim and Shunsuke Managi (2016), "Valuing the shadow price of forest stock in a sustainability indicator", in Shunsuke Managi (ed), *The Wealth of Nations and Regions*, Routledge, pp. 98-116.
- 3) Runsinarith Phim, Masayuki Sato and Shunsuke Managi (2016), "Valuing the shadow price of wetlands as a natural capital sustainability indicator and a case study from Japan", in Shunsuke Managi (ed), *The Wealth of Nations and Regions*, Routledge, pp. 117-131.
- 4) 佐藤真行, 馬奈木俊介(2017), 「森林の価値」, 馬奈木俊介(編著)『新国富論』, 中央経済社, 近刊
- 5) 佐藤真行, 林 岳, 蒲谷 景, 馬奈木俊介(2017), 「生態系サービスと勘定体系」, 馬奈木俊介(編著)『新国富論』, 中央経済社, 近刊

(2) 口頭発表(学会等)

- 1) Rintaro Yamaguchi, Masayuki Sato and Kazuhiro Ueta: Measuring regional wealth and assessing sustainable development: a case study of a disaster-torn region in Japan, 17th World Congress of the International Economic Association, 2014.
- 2) 大西暁生, 前崎隆一: オブジェクト分類手法による詳細土地被覆情報の取得と地表面温度の再現性に関する研究, 第 22 回地球環境シンポジウム, 2014.
- 3) 大西暁生, 高平洋祐, 佐尾博志, 森杉雅史: 都市空間構造の集約化による空閑地緑化の地表面温度低減効果, 第 22 回地球環境シンポジウム, 2014.
- 4) 田畑 智博: ライフサイクル思考を用いた環境影響の体系的解析に関する研究~地域・生活の視点から~, 環境科学会 2014 年会, 2014.
- 5) 佐藤真行, 馬奈木俊介: 持続可能性指標における自然資本のシャドウ・プライス, 環境経済・政策学会 2014 年大会, 2014.
- 6) Masayuki Sato: Some Discussion Points on Sustainability Indicators based on "Capital Approach", Workshop on Inclusive Wealth Accounting and Ecosystem Service, 2014.

- 7) Kiyomi Kawamoto: Community resilience efficiency for earthquake and tsunami waste management: Analysis using earthquake disaster experience, 61st Annual North American Meetings of the Regional Science Association International, 2014.
- 8) Tomohiro Tabata, Ou Zhang, Yuna Yamanaka, Peii Tsai: Potential of Disaster Waste Generation from Durable Household Goods, Tokyo Conference on International Study for Disaster Risk Reduction and Resilience, 2015.
- 9) 前田真佐樹, 佐尾博志, 牧 歩嵩, 大西暁生: 南海トラフ巨大地震の津波被害による住宅地被害額の推計—静岡県西部地域のケース—, 第 42 回土木学会関東支部技術研究発表会, 2015.
- 10) 水野伶那, 佐尾博志, 大西暁生: 南海トラフ巨大地震に起因する津波による住宅地被害の推計—神奈川県の下町・字等を対象に—, 第 42 回土木学会関東支部技術研究発表会, 2015.
- 11) 大西暁生, 高平洋祐, 佐尾博志, 森杉雅史: 都市空間構造再編による空地の有効利用について—緑化対策による地表面温度緩和効果—, 日本計画行政学会・社会情報学会共催第 9 回若手研究交流会, 2015.
- 12) 佐尾博志, 牧 歩嵩, 前田真佐樹, 大西暁生: 三重県における住宅被害からの災害廃棄物の発生量—南海トラフ巨大地震のケース—, 日本計画行政学会・社会情報学会共催第 9 回若手研究交流会予稿集, 2015.
- 13) 田畑智博, 蔡 佩宜: 一般廃棄物焼却施設の発電・熱生産の現状と将来のエネルギー供給に関する考察, 第 10 回日本 LCA 学会研究発表会, 2015.
- 14) 蔡 佩宜, 佐伯 孝, 田畑智博: 一般廃棄物処理施設の処理余力の実態と災害時の廃棄物管理に関する考察, 第 10 回日本 LCA 学会研究発表会, 2015.
- 15) 山中優奈, 張 欧, 蔡 佩宜, 田畑智博: 災害廃棄物発生量予測を目的とした家庭用耐久消費財保有数量の推計モデルの構築, 第 10 回日本 LCA 学会研究発表会論, 2015.
- 16) 張 欧, 山中優奈, 蔡 佩宜, 田畑智博: 家庭における潜在的な災害廃棄物発生量に関する研究, 第 10 回日本 LCA 学会研究発表会, 2015.
- 17) 前田真佐樹, 佐尾博志, 牧 歩嵩, 大西暁生: 南海トラフ巨大地震による住宅地被害額の推計—静岡県西部地域におけるケース—, 第 10 回日本 LCA 学会研究発表会, 2015.
- 18) 牧 歩嵩, 佐尾博志, 前田真佐樹, 大西暁生: 南海トラフ巨大地震による住宅被害からの災害廃棄物の発生量の把握—三重県におけるケース—, 第 10 回日本 LCA 学会研究発表会, 2015.
- 19) 佐伯 孝, 佐野隼翼, 蔡 佩宜, 田畑智博: 災害時に発生する廃棄物の発生・処理に関する研究, 第 10 回日本 LCA 学会研究発表会, 2015.
- 20) Tomohiro Tabata, Peii Tsai, Takashi Saeki: Evaluation of the Ability of Municipal Solid Waste Treatment Plants to Serve as Regional Disaster Response Facilities, The 30th International Conference on Solid Waste Technology and Management, 2015.
- 21) 佐藤真行: 持続可能な発展の経済分析, 「持続可能性と Well-Being-4 種の資本概念とその限界」研究会, 2015.
- 22) 佐尾 博志, 牧 歩嵩, 前田 真佐樹, 大西 暁生: 三重県における南海トラフ巨大地震に伴う住宅の災害廃棄物の把握, 第 18 回日本環境共生学会地域シンポジウム, 立命館大学, 2015.

- 23) Hodaka Maki, Masaki Maeda, Sao Hiroshi, Akio Onishi: Evaluating the amount of residential waste likely to be caused by great earthquakes along the Nankai Trough: The case of Mie prefecture, Japan, ISIE Conference 2015, 2015.
- 24) H. Maki, M. Maeda, H. Sao, A. Onishi: Evaluation the amount of residential waste likely to be caused by great earthquakes along the Nankai Trough: The case of Mie prefecture, Japan, p. 462, Taking Stock of Industrial Ecology - ISIE Conference 2015, 2015.
- 25) 田畑智博, 蔡 佩宜: 一般廃棄物焼却施設の発電・熱生産によるエネルギー供給状況の調査, 第24回日本エネルギー学会大会, 2015.
- 26) 蔡 佩宜, 田畑智博, 白川博明: 災害廃棄物の広域処理受け入れに対する住民意識の調査, 第26回廃棄物資源循環学会研究発表会論文集, pp.161-162, 2015.
- 27) 大西暁生, 平野大輔, 佐尾博志, 奥岡桂次郎, 森田紘圭: 木質資源としての家具所有の実態把握, 日本計画行政学会第38回全国大会研究報告要旨集, pp.25-28, 2015.
- 28) 平野大輔, 大西暁生, 佐尾博志, 奥岡桂次郎, 森田紘圭: 愛知県名古屋市における住宅内の家具所有台数の把握とその特徴について, 第23回地球環境シンポジウム講演集, pp. 243-248, 2015.
- 29) 田畑智博, 蔡 佩宜, 張 欧, 山中優奈: 家庭用耐久消費財に由来する災害廃棄物発生ポテンシャルの推計, 環境科学会 2015 年会講演要旨集, p.66, 2015.
- 30) 大西暁生, 高平洋祐, 佐尾博志, 森杉雅史: 愛知県名古屋市における空閑地緑化による熱環境緩和効果, 環境科学会 2015 年会, p.68, 2015.
- 31) 佐尾博志, 牧歩高, 前田真佐樹, 大西暁生: 将来の社会状況下における南海トラフ巨大地震による住宅地被害額の推計—三重県のケース—, 環境科学会 2015 年会, p.74, 2015.
- 32) Tsai, P., Saeki, T., Tabata, T.: Analysis of the redundant capacities of waste incineration plants and the possibility of wide-area disposal in Japan: the case of great earthquake at the Nankai trough, Proceedings of the 10th conference on sustainable development of energy, water and environmental systems, SDEWES2015.0947, 1-7, 2015.
- 33) Tabata, T., Zhang, O., Yamanaka, Y., Tsai, P.: Estimating present and future outlook for potential disaster waste generation using consumer durables, Proceedings of the 10th conference on sustainable development of energy, water and environmental systems, SDEWES2015.0877, 1-11, 2015.
- 34) 田畑智博, 張 欧, 山中優奈, 蔡 佩宜: 統計・ウェブ情報を用いた耐久消費財由来の災害廃棄物発生原単位の推計とその利用, 第43回環境システム研究論文集, pp. II_441 -II_449, 2015.
- 35) 今井浩二, 佐尾博志, 前田真佐樹, 大西暁生: 高知県における南海トラフ巨大地震に災害廃棄物量の発生量の推計, 第43回環境システム研究論文発表会講演集, pp.171-178, 2015.
- 36) H. Sao, R. Mizuno, A. Onishi: Estimates of disaster waste and damage costs from great earthquakes along the Nankai Trough: The case of Kanagawa prefecture, pp.958-961, 9th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, 2015.
- 37) A. Onishi, M. Maeda, H. Maki, H. Sao: Estimating residential waste from great earthquakes along the Nankai Trough: The case of the western region of Shizuoka prefecture, Japan, PS 10-61, World Engineering Conference and Convention 2015, 2015.

- 38) H. Sao, K. Imai, M. Maeda, A. Onishi: Estimating residential damage costs from Tsunami of great earthquakes along the Nankai trough: The case of Kochi Prefecture, Japan, PS 1-2-2, World Engineering Conference and Convention 2015, 2015.
- 39) 前田真佐樹, 佐尾博志, 大西暁生: 住宅の撤退による災害廃棄物量の軽減効果ー南海トラフ巨大地震のケース, 環境情報科学, p. 24, 2015.
- 40) 大西暁生, 佐尾博志, 前田真佐樹: 三重県における地震と津波による住宅の災害廃棄物量の推計ー南海トラフ巨大地震のケースー, 環境情報科学, 2015.
- 41) 蔡 佩宜, 田畑智博, 白川博章: 災害廃棄物の広域処理受入れに対する住民意識に関する研究, 第 37 回全国都市清掃会議研究・事例発表会講演論文集, pp. 364-366, 2016.
- 42) 佐伯 孝, 蔡 佩宜, 田畑智博: 災害廃棄物の発生・処理に関する研究, 第 37 回全国都市清掃会議研究・事例発表会講演論文集, pp. 352-354, 2016.
- 43) 西村理沙, 前田真佐樹, 大西暁生: 首都直下地震による住宅からの災害廃棄物量の把握, 日本計画行政学会・社会情報学会共催第 10 回若手研究交流会予稿集, 2016.
- 44) 石丸加奈子, 佐尾博志, 田畑智博, 佐伯 孝, 大西暁生: 東日本大震災における災害廃棄物処理と自治体の特徴について, 日本計画行政学会・社会情報学会共催第 10 回若手研究交流会予稿集, p. 120, 2016.
- 45) 佐伯 孝, 今井晃一: 産業廃棄物処理施設を活用した災害廃棄物処理に関する研究, 第 11 回日本 LCA 学会研究発表会, pp. 168-169, 2016.
- 46) 前田真佐樹, 大西暁生: 津波による住宅の災害廃棄物発生量の把握と住宅移転による軽減効果ー南海トラフ巨大地震のケースー, 第 11 回日本 LCA 学会研究発表会, pp. 172-173, 2016.
- 47) 田畑智博, 若林陽平, 蔡 佩宜: 災害廃棄物処理システムの構築に関する考察, 第 11 回日本 LCA 学会研究発表会, pp. 178-179, 2016.
- 48) 蔡 佩宜, 田畑智博, 白川博章: 災害廃棄物の広域処理に対する住民の受け入れ意思と選好の評価, 第 11 回日本 LCA 学会研究発表会, pp. 382-383, 2016.
- 49) 今井晃一, 佐伯 孝: 津波における災害廃棄物の発生量への影響に関する研究, 第 11 回日本 LCA 学会研究発表会, pp. 374-375, 2016.
- 50) Kiyomi Kawamoto: Social Capital and Efficiency of Earthquake Waste Management in Japan, 62nd Annual North American Meetings of the Regional Science Association International, Portland, USA, 2015.
- 51) Kiyomi Kawamoto and Karl Kim: Bonding, Bridging and Linking networks for Efficiency of Earthquake Waste Management in Japan, Western Regional Science Association, Big island, USA, 2016.
- 52) Kiyomi Kawamoto and Karl Kim, Social Capital and Earthquake Waste Management in Japan, Pacific Risk Management OHANA 2016, Honolulu, USA, 2016.
- 53) Kawamoto, K. and Kim, K.: Bonding, Bridging and Linking networks for Efficiency of Earthquake Waste Management in Japan, IAIA16, 2016.
- 54) Kawamoto, K. and Kim, K.: Bonding, Bridging and Linking networks for Earthquake Waste Management in Japan, Proceedings of the 14th Pacific Regional Science Conference Organisation Summer Institute CD-ROM, 2016.

- 55) 若林陽平, 蔡 佩宜, 田畑智博: 南海トラフ巨大地震を想定した災害廃棄物処理システムの費用分析, 平成 28 年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集, CD-ROM, 2016.
- 56) Kawamoto, K. and Kim, K.: Social Capital Networks and Efficiency of Earthquake Waste Management in Japan, Proceedings of the CECAR7, CD-ROM, 2016.
- 57) Masayuki Sato, Toshifumi Minamoto and Atushi Ushimaru: Ecosystem Service Valuation in Urban Area: Case Study of Mt. Rokko, Kobe, Japan, the 6th Congress of East Asian Association of Environmental and Resource Economics, 2016.
- 58) 田畑智博, 蔡 佩宜: 住宅地図を用いた地方都市における災害廃棄物発生空間分布の可視化, 環境科学学会 2016 年会講演要旨集, p. 18, 2016.
- 59) 大西暁生, 石丸加奈子, 田畑智博, 佐伯 孝, 佐尾博志: 東日本大震災の災害廃棄物処理における自治体・地域コミュニティの役割について, 環境科学学会 2016 年会, p. 75, 2016
- 60) 青島一平, 内田 圭, 丑丸敦史, 佐藤真行: 満足度指標を用いた都市緑地の貨幣価値評価, 環境科学学会 2016 年会, 2016.
- 61) 佐藤真行, 青島一平, 金谷 遼: 都市における生態系サービスとディスプレイサービス, 環境経済・政策学会 2016 年大会, 2016.
- 62) Tabata, T., Wakabayashi, Y., Tsai, P.: Life Cycle Assessment of Disaster Waste Treatment System in Japan, Proceedings of the ISWA World Congress 2016, pp.2008-2017, 2016.
- 63) Wakabayashi, Y., Tabata, T., Tsai, P.: Life Cycle Costing of Disaster Waste Treatment System, Proceedings of the 12nd International Conference on EcoBalance, p.137, 2016.
- 64) Tsai, P., Shirakawa, H., Tabata, T.: Evaluation of Public Acceptance and Preference to Wide-Area Disposal Measures for Disaster Waste, Proceedings of the 12nd International Conference on EcoBalance, p.150, 2016.
- 65) Onishi, A., Imai, K., Maeda, M.: Estimation of disaster waste generated by great earthquakes along the Nankai Trough in Kochi prefecture, Japan, Proceedings of the 12th Biennial International Conference on EcoBalance, p.155, 2016.
- 66) 川本清美, Karl Kim: 地震災害廃棄物管理の効率性に影響するソーシャル・キャピタルネットワーク, 第 44 回環境システム研究論文発表会講演集, pp. 47-53, 2016.
- 67) 蔡 佩宜, 田畑智博, 白川博章: 災害廃棄物の広域処理に対する住民の選好評価とその要因分析, 第 44 回環境システム委員会研究論文発表会講演集, pp. 321-326, 2016.
- 68) 若林陽平, 蔡 佩宜, 田畑智博: 特定廃家電由来の災害廃棄物の処理に伴うライフサイクルコストの試算, 第 44 回環境システム委員会研究論文発表会講演集, pp. 327-332, 2016.
- 69) 石丸加奈子, 大西暁生, 田畑智博, 佐伯 孝, 佐尾博志: 災害廃棄物処理から考えるコミュニティの力と災害に強いまちづくりの提案, エコデザイン・プロダクツ&サービス 2016 シンポジウム, pp. 156-157, 2016.
- 70) 青島一平, 内田 圭, 丑丸敦史, 田畑智博, 佐藤真行: 都市緑地が主観的な緑量や満足度に与える影響の分析, 環境情報科学, 2016.
- 71) 大西暁生: 巨大地震における災害廃棄物発生量の把握と対策によるその軽減効果, 都市大サロン (東京都市大学と東京大学生産技術研究所学術連携), 2016.

- 72) 田畑智博, 佐伯 孝: 災害廃棄物処理のインベントリデータの作成, 第 12 回日本 LCA 学会研究発表会論文集, pp.136-137, 2017.
- 73) 蔡 佩宜, 田畑智博: 災害廃棄物の広域処理に対する住民の受容意識と方略, 第 12 回日本 LCA 学会研究発表会論文集, pp.138-139, 2017.
- 74) 若林陽平, 蔡 佩宜, 田畑智博: 災害廃棄物処理システムの環境的、経済的評価方法の開発, 第 12 回日本 LCA 学会研究発表会論文集, pp.140-141, 2017.
- 75) 渡邊 望, 大西暁生: 愛知県名古屋市中における家具のマテリアルストック需要量の将来分析-重回帰分析による検討-, 日本計画行政学会・社会情報学会共催第 11 回若手研究交流会予稿集, p.156, 2017.
- 76) 青島一平, 内田 圭, 丑丸敦史, 田畑智博, 佐藤真行: 満足度指標による緑地評価と公共事業としての森林保全, 日本経済政策学会関西西部会 2016 年度大会, 2017.
- 77) 青島一平, 内田 圭, 丑丸敦史, 佐藤真行: 自然環境と満足度～都市の生活と生態系サービス～, 第 64 回日本生態学会大会, 2017.
- 78) Tabata, T., Wakabayashi, Y., Tsai, P.: Environmental and Economic Evaluation of Disaster Waste Management, Proceedings of the 20th Conference on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction 2017(予定).
- 79) Kiyomi Kawamoto and Karl Kim: Differences Between Bonders, Bridgers, and Linkers: Cleaning up After Disasters in Japan, 25th Pacific Conference of the RSAI, Tainan, Taiwan, 2017(Accepted).

(3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 都市大サロン「巨大地震における災害廃棄物発生量の把握と対策によるその軽減効果」(主催: 東京都市大学、東京大学生産技術研究所、2016 年 12 月 9 日、東京都市大学世田谷キャンパスラウンジオーク、観客約 50 名) にて講演
- 2) 第 4 回サイエンスカフェ*SODA/サイエンスカフェひょうご in 南あわじ「これからのエネルギー源をどこに求めるか」(主催: 特定非営利法人ソーシャルデザインセンター淡路大学コンソーシアムひょうご神戸公益財団法人ひょうご科学技術協会、2016 年 12 月 19 日、SODA 島の学舎、観客約 30 名) にて講演
- 3) 環境評価に関する研究会(主催: 一般社団法人環境評価研究機構、2017 年 2 月 21 日、大阪市、観客約 20 名) にて講演
- 4) 第 1 回 KAARb サロン「超高齢社会を見据えた持続可能なごみ処理施策」(主催: 神戸大学アクティブエイジング研究センター、2017 年 3 月 17 日、神戸大学大学院人間発達環境学研究科、観客約 40 名) にて講演

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 週刊エコノミスト (2016 年 11 月号、毎日新聞出版、「視点・争点 学者に聞け!」)

(6) その他

- 1) 第10回日本LCA学会研究発表会学生優秀ポスター発表賞，災害廃棄物発生量予測を目的とした家庭用耐久消費財保有数量の推計モデルの構築(山中優奈，張 欧，蔡 佩宜，田畑 智博)，第10回日本LCA学会研究発表会，2015年3月11日
- 2) 地球環境シンポジウム優秀ポスター賞，愛知県名古屋市における住宅内の家具所有台数の把握とその特徴について(平野大輔，大西暁生，佐尾博志，奥岡桂次郎，森田紘圭)，土木学会第23回地球環境シンポジウム，2015年9月
- 3) 環境科学会2015年会，ポスドクおよび博士課程学生の部，最優秀発表賞(富士電機賞)，将来の社会状況下における南海トラフ巨大地震による住宅地被害額の推計－三重県のケース－(佐尾博志，牧 歩高，前田真佐樹，大西暁生)，環境科学会，2015年9月
- 4) 第12回環境情報科学ポスターセッション，学生の部，学術委員長賞，住宅の撤退による災害廃棄物の軽減効果－南海トラフ巨大地震のケース(前田真佐樹，佐尾博志，大西暁生)，環境情報科学セミナー，2015年12月
- 5) 優秀ポスター発表賞，災害廃棄物の広域処理に対する住民の選好評価とその要因分析(蔡 佩宜，田畑 智博，白川博章)，第44回環境システム委員会研究論文発表会，2016年10月

8. 引用文献

1 はじめに

- 1) 消防庁：平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)について(第 155 報)，
<http://www.fdma.go.jp/bn/higaihou/pdf/jishin/155.pdf>

3. 研究方法

(1) 人工資本ロスストック発生量予測のための都市ストックモデルの構築

- 1) 総務省統計局：平成 25 年住宅・土地統計調査(速報集計)結果の要約，2014，
<http://www.stat.go.jp/data/jyutaku/2013/pdf/yoyaku.pdf>
- 2) 総務省統計局：2016 年建築着工統計調査，2017，
http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/GL08020103.do?_toGL08020103_listID=000001171528&disp=0ther&requestSender=search
- 3) 国土交通省：道路統計年報 2016，2017，
<http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/tokei-nen/index.html>
- 4) 住環境計画研究所：2014 年版 家庭用エネルギーハンドブック，208p，2013.
- 5) 長谷川正利，大西暁生，奥岡桂次郎：ストック型社会へ向けた北陸三県におけるマテリアルストック分析，環境情報科学学術研究論文集，Vol. 26，pp. 37-42，2012.
- 6) 小松幸夫，加藤裕久，吉田倬郎，野城智也：我が国における各種住宅の寿命分布に関する調査報告-1987 年固定資産台帳に基づく推計，日本建築学会計画系論文報告集，439，pp. 101-110，1992.
- 7) 小見康夫，栗田紀之：長寿命化トレンドを考慮した建物残存率のシミュレーション-建物の長寿命化トレンドにおける建材のストック/排出量の算出手法に関する研究 その 1，日本建築学会計画系論文集，Vol. 75，No. 656，pp. 2459-2464，2010.
- 8) 内閣府南海トラフ巨大地震モデル検討会：地震動データ，CD-ROM 損害保険料率算出機構：家財の地震被害予測手法に関する研究(その 1)，2007.

- 9) 長岡耕平, 谷川寛樹, 橋本征二: 全国の都道府県における地下と地上のマテリアルストックに関する研究, 第 36 回環境システム研究論文発表会, pp. 303-308, 2008.
- 10) 国土強靱化推進本部: 住宅・建築物の耐震化率, 2015, http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kokudo_kyoujinka/pdf/ap2015.pdf
- 11) 三重県: M-GIS, <http://www.pref.mie.lg.jp/m-gis/index.shtm>
- 12) 中央防災会議: 南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ、南海トラフの巨大地震 建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要、2012、http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg/8/pdf/sub2.pdf
- 13) 国土数値情報ダウンロードサービス: 人口集中地区データ、2010、<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A16.html>
- 14) 総務省: 平成 22 年国勢調査、2011.
- 15) 総務省: 平成 21 年全国消費実態調査、2011.

(2) 自然資本ロストストック発生量予測とその対策

- 1) 損害保険料率算出機構: 全国を対象とした地震時の斜面崩壊危険度評価手法に関する研究, 2012 年, http://www.giroj.or.jp/disclosure/q_kenkyu/24.html
- 2) 首藤伸夫: 防潮林の津波に対する効果と限界, 第 32 回海講論文集, pp. 465-469, 1985.
- 3) 栗山浩一: 環境の価値と評価手法, 北海道大学出版会, 1997.
- 4) 栗山浩一, 庄子康: 環境と観光の経済評価, 勁草書房, 2005.
- 5) McFadden, D.: “Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior”, in P. Zarembka (ed.), *Frontiers in Econometrics*, Academic Press, 1974.

(3) 災害廃棄物処理システムの環境的・経済的評価方法の開発

- 1) 荒井康裕, 池田有斗, 稲員とよの: 震災廃棄物の輸送計画に関するモデル分析, 土木学会論文集 G(環境), Vol. 71, pp. II_263-II_270, 2015.
- 2) 伊藤 孝浩: 南海地震で発生する災害廃棄物を海岸に埋立処分することによる時間・費用縮減効果の検討, 2011, www.kochi-tech.ac.jp/library/ron/2013/2013sys/a1140017.pdf
- 3) 熊谷組: 首都直下型地震における震災廃棄物輸送に関する基礎的研究, 2012.
- 4) 梁田雄太, 加用千裕, 立尾浩一, 山田正人, 橋本征二: 南海トラフ大地震を想定した災害廃棄物処理計画, 第 10 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, 2015.
- 5) 伊川純慶, 中久保 豊彦, 東海 明宏: レジリエンス特性を踏まえた災害廃棄物(可燃系廃棄物)処理の対策効果分析ー近畿圏における広域連携を対象としてー, 土木学会論文集 G(環境), Vol. 71 No. 6 p. I I_253-II_262, 2015.
- 6) 丹治三則: 一般廃棄物処理の広域化計画に伴う災害廃棄物処理の費用便益分析, 第 11 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, 2016.
- 7) 熊本県: 熊本県災害廃棄物処理実行計画～第 1 版～, http://www.pref.kumamoto.jp/kiji_16209.html
- 8) 産業環境管理協会: MiLCA(Ver. 1.1.6.0), <http://www.milca-milca.net>
- 9) 田畑智博, 李 一石, 菱沼竜男, 楊 翠芬: 統計資料を用いた簡易的なライフサイクルアセスメントの有効性の検討ー一般廃棄物焼却施設を対象としてー, 都市清掃, Vol. 64, No. 303, pp. 509-519, 2011.

- 10) Tabata, T., Hishinuma, T., Ihara, T., Genchi, Y.: Life cycle assessment of integrated municipal solid waste management systems, taking account of climate change and landfill shortage trade-off problems, Waste Management & Research, Vol.29, No.4, pp.423-432, 2011.
- 11) Tabata, T., Wakabayashi, Y., Tsai, P., Saeki, T.: Environmental and economic evaluation of pre-disaster plans for disaster waste management: Case study of Minami-Ise, Japan, Waste Management, Vol.61, pp.386-396, 2017.
- 12) 川畑雄大, 島岡隆行, 中山裕文: 東日本大震災により発生した災害廃棄物処理に関する一考察, 第23回廃棄物資源循環学会研究発表会要旨集, CD-ROM, 2012.
- 13) Tabata, T., Okuda, T.: Life cycle assessment of woody biomass energy utilization: Case study in Gifu Prefecture, Japan, Energy, Vol.45, pp.944-951, 2012.
- 14) 小林謙介, 磯部孝行, 田原聖隆, 井上 隆: 建築廃棄物処理の現状分析と環境負荷削減の可能性, 日本建築学会環境系論文集, Vol.74, No.635, pp.97-104, 2009.
- 15) 環境省: 平成28年熊本地震により発生した災害廃棄物処理の進捗状況(平成28年11月時点), http://kouikishori.env.go.jp/archive/h28_shinsai/pdf/h28_shinsai_info_170116.pdf
- 16) Tsai, P., Saeki, T., Tabata, T.: Analysis of the redundant capacities of waste incineration plants and the possibility of wide-area disposal in Japan: the case of great earthquake at the Nankai trough, Proceedings of the 10th conference on sustainable development of energy, water and environmental systems, SDEWES2015.0947, pp.1-7, 2015.
- 17) 三重県: M-GIS, <http://www.pref.mie.lg.jp/m-gis/index.shtm>
- 18) 環境省: 災害廃棄物対策指針情報ウェブサイト, <http://www.env.go.jp/recycle/waste/disaster/guideline/toc/index.php>
- 19) 田畑智博, 張 欧, 山中優奈, 蔡 佩宜: 統計・ウェブ情報を用いた耐久消費財由来の災害廃棄物発生原単位の推計とその利用, 土木学会論文集 G(環境), 71, pp.II_441-II_449, 2015.
- 20) 佐伯 孝, 佐野隼翼, 蔡 佩宜, 田畑 智博: 災害時に発生する廃棄物の発生・処理に関する研究, 第10回日本LCA学会研究発表会講演要旨集, pp.28-29, 2015.
- 21) 三重県: みえデータ BOX, <http://www.pref.mie.lg.jp/DATABOX/000179034.htm>
- 22) 三重県: 三重県地震被害想定結果の概要(平成25年度版), 2013, <http://www.pref.mie.lg.jp/D1B0USAI/84544007861.htm>
- 23) 三重県: 三重県災害廃棄物処理計画, 2015, <http://www.pref.mie.lg.jp/TOPICS/2015030524.htm>
- 24) 長岡耕平, 谷川寛樹, 橋本征二: 全国の都道府県における地上と地下のマテリアルストック推計に関する研究, 環境システム研究論文発表会講演集, Vol.36, pp.303-308, 2008.
- 25) 兵庫県: 防災会議地震災害対策計画, 2013, https://web.pref.hyogo.lg.jp/kk37/pa18_000000049.html
- 26) 高知県: 高知県災害廃棄物処理計画[Ver.1], <http://www.city.kochi.kochi.jp/soshiki/63/saigai-keikaku.html>
- 27) 荒井康裕, 池田有斗, 稲員とよの, 小泉 明, 茂木 敏, 吉田慎太郎, 飯野成憲: 震災廃棄物の輸送計画に関するモデル分析—1次仮置場の制約条件に着目した検討—, 土木学会論文集 G(環境), Vol.71, pp.II_263-II_270, 2015.

- 28) 環境省：東日本大震災に係る災害廃棄物処理事業の取り扱いについて，2011，<https://www.env.go.jp/jishin/attach/nol10527004.pdf>

(4) 災害廃棄物の撤去・収集・広域処理等に係る住民意識の評価

- 1) 消防庁災害対策本部，平成 23 年東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）について第 148 報，1-5，2013
<http://www.fdma.go.jp/bn/higaihou/pdf/jishin/148.pdf>
- 2) 内川治・川嶋敦子・磯崎幸子，SPSS よるテキストマイニング入門，オーム社，p2・143・176，2012.
- 3) Putnam Robert D: Making Democracy Work. pp. 163-185, Princeton: Princeton University Press, 1993.
- 4) 内閣府国民生活局市民活動促進課：ソーシャル・キャピタル：豊かな人間関係と市民活動の好循環を求めて，2003.
- 5) Aldrich Daniel P: Building Resilience, The University of Chicago Press, 2012.
- 6) Lin Nan: A network theory of social capital. In Dario Castiglione, Jan W van Deth, and Guglielmo Wolleb, eds., The handbook of social capital. pp. 50-69, Oxford University Press, 2008.
- 7) USAID: Community resilience: conceptual framework and measurement feed the future learning agenda. 2013.
- 8) Szreter Simon and Woolcock Michael: Health by association? Social capital, social theory, and the political economy of public health. International Journal of epidemiology. Vol. 33, No. 4, pp. 650-667, 2014.
- 9) Norris FH, Stevens SP, Pfefferbaum B, Wyche KF, Pfefferbaum RL. Community resilience as metaphor, theory, set of capacities, and strategy for disaster readiness. American Journal of Community Psychology 2008; 41: 127-50.
- 10) Coles, E., and Buckle, P. (2004). Developing community resilience as a foundation for effective disaster recovery. The Australian Journal of Emergency Management, 19, 6-15.
- 11) 廃棄物資源循環学会：災害廃棄物分別・処理実務マニュアル-東日本大震災を踏まえて，2012.
- 12) 環境省：岩手・宮城がれき処理データサイト，2014. 3，<http://garekikouiki-data.env.go.jp/>
- 13) 加藤 勝：東日本大震災における災害廃棄物広域処理政策のプログラム・セオリー評価，日本評価研究，Vol.12, No.3, pp.15-25, 2013.
- 14) 泉 優佳理，白井義人：東日本大震災に伴う災害廃棄物受け入れに関する北九州市におけるリスクコミュニケーション，廃棄物資源循環学会誌，Vol.25, pp.36-44, 2014.
- 15) 全国産業廃棄物連合会：リスクコミュニケーション・マニュアル調査報告書，2003，
http://www.zensanpairen.or.jp/federation/02/06/risk_manual.pdf
- 16) 松本安生，原科幸彦：資源ごみの分別収集における住民の意識と行動に関する研究—目黒区びん・アルミ缶分別収集を事例として—，環境科学会誌，Vol.6, No.4, pp.297-310, 1993.
- 17) 樋口耕一：社会調査のための計量テキスト分析，2014，233pp，ナカニシヤ出版.

4. 結果及び考察

(1) 人工資本ロスストック発生量予測のための都市ストックモデルの構築

- 1) 三重県：三重県の海岸管理の実態，2013，https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/kaigankanrinoarikata/dai02kai/dai02kai_siryoku2.pdf

- 2) 島岡隆行, 山本耕平編: 廃棄物資源循環学会シリーズ 3 災害廃棄物, 中央法規, 294p, 2009.
- 3) 環境省関東地方環境事務所: 平成 17 年度大規模災害時の建設廃棄物等の有効利用及び適正処理方策検討調査報告書, http://kanto.env.go.jp/to_2006/data/1226a_all.pdf
- 4) 中央防災会議: 南海トラフ巨大地震の被害想定について(第一次報告), 東京, 191p, 2012.
- 5) 環境省: 巨大災害時における災害廃棄物対策のグランドデザインについて中間とりまとめ(参考資料), p. 49, 2014.
- 6) 兵庫県: 兵庫県の地震・津波被害想定(南海トラフ), <https://web.pref.hyogo.lg.jp/kk38/hyougoke nnnozisinnntunamihigaisoutei.html>

(2) 自然資本ロスストック発生量予測とその対策

- 1) 元吉忠寛、高尾堅司、池田三郎: 家庭防災と地域防災の行動意図の規定因に関する研究 (2008), 社会心理学研究, Vol. 23, No. 3, pp. 209-220.
- 2) Noda, M.: Does affective forecasting change motivation for disaster preparedness? (2016), International Journal of Social Psychology, Vol. 31, No. 1, pp. 109-136.

(3) 災害廃棄物処理システムの環境的・経済的評価方法の開発

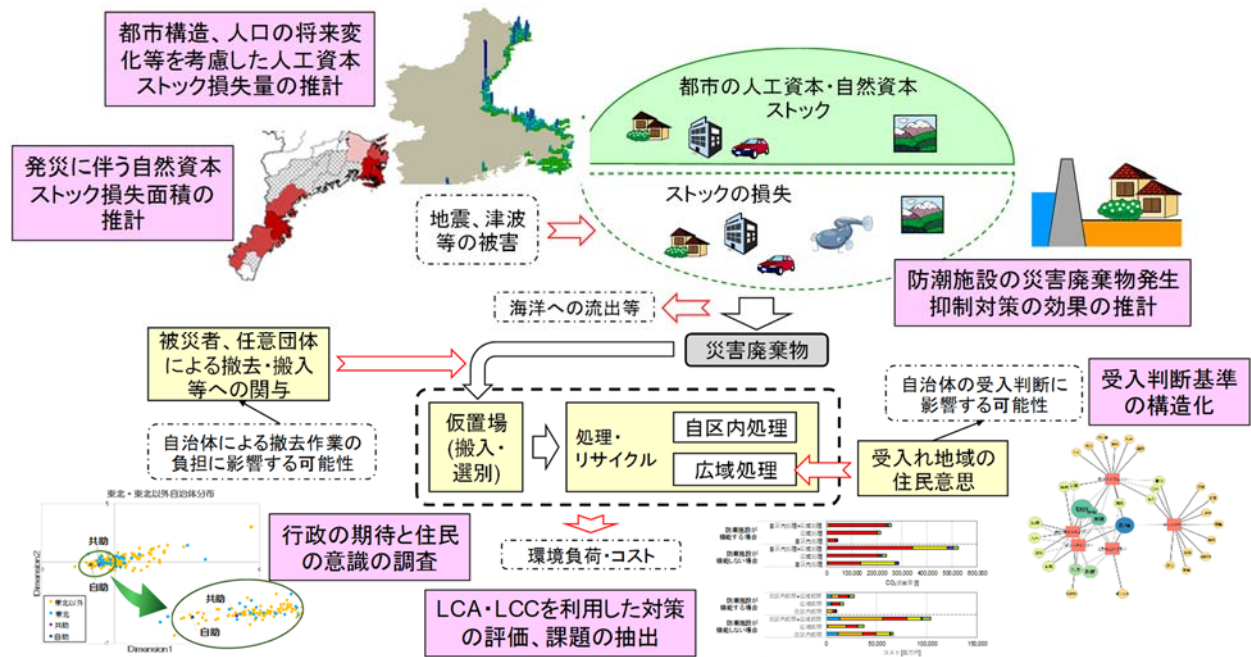
- 1) 靄巻峰夫: 資材ストック量を考慮した災害廃棄物量の予測手法に関する研究, 平成 26 年度大学等地域貢献促進事業報告書, 2017, <http://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/022100/daigaku/documents/26-3.pdf>
- 2) 環境省: 巨大災害発生時における災害廃棄物対策のグランドデザインについて中間とりまとめ. 2014, <https://www.env.go.jp/recycle/waste/disaster/earthquake/conf/h2603report.pdf>
- 3) 財団法人全国産業廃棄物連合会: 産業廃棄物処理業界における災害廃棄物処理支援の手引き～災害時の円滑な協力・支援に向けて～, 2009, <http://www.zensanpairen.or.jp/federation/02/02/saigais hien.pdf>
- 4) 熊本県: 熊本県災害廃棄物処理実行計画～第 1 版～, http://www.pref.kumamoto.jp/kiji_16209.html
- 5) 財務省: 平成 28 年度補正予算(第 3 号), http://www.mof.go.jp/budget/budger_workflow/budget/fy2016/hosei1222.html
- 6) 三重県: 三重県災害廃棄物処理計画, 2015, <http://www.pref.mie.lg.jp/TOPICS/2015030524.htm>
- 7) 環境省: 大気汚染に係る環境基準, <http://www.env.go.jp/ki jun/taiki.html>
- 8) Tabata, T., Wakabayashi, Y., Tsai, P., Saeki, T.: Environmental and economic evaluation of pre-disaster plans for disaster waste management: ケース study of Minami-Ise, Japan, Waste Management, Vol. 61, pp. 386-396, 2017.
- 9) Tabata, T., Hishinuma, T., Ihara, T., Genchi, Y.: Life cycle assessment of integrated municipal solid waste management systems, taking account of climate change and landfill short age trade-off problems, Waste Management & Research, Vol. 29, No. 4, pp. 423-432, 2011.
- 10) 三重県: 予算, <http://www.pref.mie.lg.jp/common/07/ci400003481.htm>

(4) 災害廃棄物の撤去・収集・広域処理等に係る住民意識の評価

- 1) 内田 治: すぐわかる SPSS によるアンケートのコーレスポネンデンス分析, 東京図書, 2006.
- 2) 井元智子: 放射線リスクコミュニケーションの場における情報ギャップの分析—誰がどのような情報を必要としているのか?—, 環境経済・政策研究, Vol. 7, No. 2, pp. 14-23, 2014.

- 3) 松本安生, 原科幸彦: 資源ごみの分別収集における住民の意識と行動に関する研究—目黒区びん・アルミ缶分別収集を事例として—, 環境科学会誌, Vol. 6, No. 4, pp. 297-310, 1993.
- 4) 三好裕司, 増田裕機, 橋本隆史, 二澤保紀, 有村恒, 木下和徹: 小学生のごみ処理施設見学による学習効果調査, 第 25 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集, pp. 39-40, 2014.
- 5) 松藤敏彦, ベソノ・ラハディアン, 藤本有華, 田中信寿: 廃棄物焼却施設・埋立地に対する住民の意識と建設反対の要因, 廃棄物学会論文誌, Vol. 16, No. 3, pp. 232-243, 2005.
- 6) 石村雄一, 竹内憲司: 東日本大震災における災害廃棄物の受け入れに関する影響要因評価, 廃棄物資源循環学会論文誌, Vol. 27, pp. 7-15, 2016.
- 7) Slovic Paul: Preception of risk, Science, Vol. 236, pp. 280-285, 1987.

[研究概要図]



3K143015、震災に伴う人工資本・自然資本ストックの損失と対策の評価、田畑智博

[英文概要]

Studies on Estimating the Earthquake Damage of Human-made and Natural Capital Stock with Evaluation of Countermeasures

Principal Investigator: Tomohiro TABATA

Institution: Graduate School of Human Development and Environment,
Kobe University

3-11 Tsurukabuto, Nada-ku, Kobe 657-8501 JAPAN

Tel: +81-78-803-7887 / Fax: +81-78-803-7887

E-mail: tabata@people.kobe-u.ac.jp

Cooperated by: Tokyo City University, Toyama Prefectural University, Hokkaido University of
Education

[Abstract]

Key Words: Human-made and natural capital stock, Nankai Mega-thrust earthquakes, Tsunami, Disaster waste management system, Flood barrier, Social capital, Community resilience

This project aimed to develop methods for the evaluation of losses caused by earthquakes in human-made and natural capital stocks in order to formulate countermeasures for their mitigation. In addition, the project assessed the present measures for disaster waste management from environmental and economic points of view. The project consisted of four studies: (1) estimation of losses caused by earthquakes in human-made capital stock; (2) estimation of losses caused by earthquakes in natural capital stock; (3) development of disaster waste management system; (4) analysis of the relationship between the human resources network and the measures for disaster waste management. Further, several case studies were conducted in the Japanese local municipalities based on the anticipated occurrence of the Nankai Mega-thrust earthquakes.

The main outcomes of the studies, which lasted three years, are summarized as follows: (1) a model was developed to estimate the loss in the human-made capital stock by taking into account population-related factors, such as housing as well as the present and future population growth. In addition, the model was used to simulate the effect of the proposed countermeasures, such as relocating residential areas away from coastal zones and upgrading the tsunami prevention facilities, on mitigating the capital stock loss. (2) A method was proposed to estimate the damage in forest resources, a component of the natural capital stock, and the consequent loss in the value of the multifaceted function. In addition, another method was developed to evaluate the countermeasures related to strengthening functions of the tsunami prevention facilities, such as upgrading the facilities for risk mitigation of earthquakes and tsunamis, cost for upgrading. (3) A method was proposed to estimate the amount of the disaster waste collected and disposed by local municipalities

based on the amount of wooden waste resulted from the destruction caused by tsunamis, which represents the loss in a component of the human-made capital stock. Moreover, methods to estimate the environmental burdens and the cost of executing a disaster waste management system were developed using life cycle assessment and life cycle cost analysis, respectively. (4) The study highlighted the importance of organizing voluntary groups in the area, because this could aid in the removal of disaster waste by independent local efforts or by joint efforts with governmental organisations. In addition, the study revealed the significance of disclosing crucial information, such as safety precautions in handling disaster waste and methods of its sorting, to the locals during risk communication training.