



ぼうさいこくたい 2024
～令和6年度 災害廃棄物対策推進シンポジウム～

災害廃棄物対策における新たな提言

(一財) 九州環境管理協会
九州大学名誉教授 島岡 隆行

内 容

1. 迅速かつ精度高い発生量の推計に向けて
2. 船舶の活用による災害廃棄物の運搬と処理
3. 環境修復材、環境創造資材としての災害廃棄物の有効利用

1. 迅速かつ精度高い発生量の推計に向けて

地震に伴う災害廃棄物量の推計方法

(1) 環境省(旧推計方法)

$$\text{災害廃棄物量} = \Sigma (\text{被害棟数(棟)} \times \text{発生原単位(t/棟)})$$

全壊: 117
半壊: 23

※ 東日本大震災(岩手及び宮城)の実績に基づく

(2) 内閣府

$$\text{災害廃棄物量} = \Sigma (\text{被害棟数(棟)} \times \text{平均延床面積(m}^2\text{/棟)} \times \text{発生原単位(t/m}^2\text{)})$$

全壊
・木造 : 0.70 (= 可燃 0.20 + 不燃 0.50)
・非木造(RC造) : 1.11 (= 可燃 0.12 + 不燃 0.99)
・非木造(S造) : 0.71 (= 可燃 0.08 + 不燃 0.63)

※ 阪神淡路大震災の実績に基づく

全壊
・木造 : 0.6
・非木造 : 1.0

※ 熊本県災害廃棄物処理計画(平成28年3月)

解説 : 災害の処理実績によるものであり、住居に加えて公共建物、その他の被害を含む処理量から算出したもの。
被害全体を示したものであり、単純に建物1棟の解体に伴う発生量を表すものではない。

令和4年度災害廃棄物発生量の推計精度向上 のための方策検討会における検討事項



昨年度までの検討事項、背景

- 本検討会では、自治体が災害廃棄物の発生量を迅速かつ精度良く推計するための方法をとりとめることを目的として、過去の災害廃棄物処理の実績データの蓄積や家屋解体に伴い発生する災害廃棄物量の実態調査（モデル解体）、それらのデータを基にした新たな推計式の検討を継続的に行っている。
- 令和3年度は、災害廃棄物対策指針に示される推計式の改善点を整理した上で、新たな推計式の検討を行った。第3回令和3年度災害廃棄物対策推進検討会において、過去の成果報告として、新たな推計式の構成案を示した。
- さらに、近年頻発している水害の災害廃棄物対策において、重要度が高まっている片付けごみ発生量の推計方法についても令和3年度から検討を開始した。

◆ 災害廃棄物対策指針に示される推計式

$$Y = X_1 \times a + X_2 \times b + X_3 \times c + X_4 \times d$$

Y：災害廃棄物の発生量 (t)

X_1, X_2 ：損壊家屋等の棟数、 X_3, X_4 ：損壊家屋等の世帯数

1：全壊、2：半壊、3：床上浸水、4：床下浸水

a, b：発生原単位 (t/棟)、c, d：発生原単位 (t/世帯)

a：全壊 (117 t/棟)、b：半壊 (23 t/棟)、c：床上浸水 (4.6 t/世帯)、d：床下浸水 (0.62 t/世帯)

出所： 災害廃棄物発生量の推計精度向上のための方策検討会の検討、環境再生・資源循環局 災害廃棄物対策室、令和5年3月24日

◆ 災害廃棄物対策指針に示される推計式の改善点

- 災害廃棄物対策指針に示される発生原単位は、**公物等量を含む発生原単位**となっている。
- **家屋によって、1棟あたりの床面積に差異が生じる**が、特に**非木造の床面積は地域により大きな差が生じる**（例えば、東京、大阪などの大都市では高層化している）ため、推計値に影響を及ぼすと考えられる。
- したがって、**被災棟数に原単位 (t/棟) を乗じるだけでは、災害廃棄物量を精度よく推計することは困難**である。

「災害廃棄物全体量」の新推計式について

【目的】

災害廃棄物全体量の推計は、被災自治体において、処理先の検討や処理に係る予算確保のために重要である。**被災自治体において、被害報を基に、災害廃棄物全体量の推計が可能である推計式とする**※。（平時の備えとして、処理先検討等においても活用可）

※ 被災自治体が把握した被害棟数（棟）を推計式に代入することにより推計可能

【災害廃棄物全体量の定義】

「**災害廃棄物全体量**」とは、建物の解体に伴い発生する**災害廃棄物**（以下、「解体廃棄物」という。）及び片付けごみや公物等、建物の解体に伴わず発生する災害廃棄物（以下、「片付けごみ及び公物等量」という。）を含め、**災害に伴い発生するすべての災害廃棄物量**である。

【検討における前提条件】

■ 対象とする災害の種類

本検討では、以下**4つの災害**を対象とした推計式の検討を行った。

- ① **地震（揺れ）**：津波の被害を受けず、揺れのみによる被害を受ける災害を対象。過去の災害事例において、津波の被害を受けていない揺れのみによる災害事例を用い検討した。
- ② **地震（津波）**：津波の被害を受ける災害を想定。過去の災害事例において、津波の被害を受けた地域の災害事例を基に検討した。
- ③ **水害**：主に洪水、浸水、冠水等による被害を想定。過去の災害事例において、災害廃棄物発生量の実績値における土砂の混入率が50%未満の災害を「水害」と定義し検討した。
- ④ **土砂災害**：主に斜面崩壊、地すべり、土石流のような被害を想定。過去の災害事例において、災害廃棄物発生量の実績値における土砂の混入率が50%以上の災害を「土砂災害」と定義し検討した。

■ 対象とする災害の規模

- 被害の大きな災害では解体廃棄物の量が支配的となることから、**全壊棟数10棟以上の被害規模を対象**とした。
 - ✓ 全壊10棟未満の場合は、その大半が1,000t未満の発生量であり、発生量が大きくばらつくため、被害棟数による推計が困難なため、過去の実績から被害棟数によらず一定の発生量とした。
 - ✓ 全壊10棟以上の場合は、推計式に災害実績に基づく係数（原単位）を代入することにより発生量を算出するとした。

「災害廃棄物全体量」の新推計式

被災自治体において、被災棟数（棟）（ $X_1 \sim X_4$ ）を代入することにより推計する。

【災害廃棄物全体量の推計式案】

$$Y = (X_1 + X_2) \times a \times b_1 + (X_3 + X_4) \times a \times b_2 + (X_1 + X_2) \times CP$$

（全壊解体廃棄物） + （半壊解体廃棄物） + （片付けごみ及び公物等量）

Y：災害廃棄物全体量（t）

X_1, X_2, X_3, X_4 ：被災棟数（棟）

添え字 1：住家全壊，2：非住家全壊，3：住家半壊，4：非住家半壊

a：災害廃棄物発生原単位（t/棟）

$$a = A_1 \times a_1 \times r_1 + A_2 \times a_2 \times r_2$$

A_1 ：木造床面積（ m^2 /棟）、 A_2 ：非木造床面積（ m^2 /棟）

a_1 ：木造原単位（ t/m^2 ）= 0.5、 a_2 ：非木造原単位（ t/m^2 ）= 1.2

r_1 ：解体棟数の構造内訳（木造）（-）， r_2 ：解体棟数の構造内訳（非木造）（-）

b_1 ：全壊建物解体率 津波1.00、揺れ0.75、水害・土砂災害0.50（-）

b_2 ：半壊建物解体率 津波0.25、揺れ0.25、水害・土砂災害0.10（-）

注）災害の種類ごとに設定

CP：片付けごみ及び公物等量発生原単位（t/棟）

注）被災自治体において、災害種類ごとに、全壊棟数（ $X_1 + X_2$ ）に比例するとして算出

注）Clean up（片付け）、Public property（公物）より「CP」とした。

「災害廃棄物全体量」の新推計式の各係数の検討概要

| 係数 | 細目 | 記号 | 検討概要 |
|------------------------------|--------|--------------------------------|---|
| 発生原単位 (t/m ²) | 木造建物 | a ₁ | <ul style="list-style-type: none"> モデル解体、文献調査、建築メーカーヒアリング等の結果より床面積と発生量の回帰分析により原単位を設定する。 |
| | 非木造建物 | a ₂ | |
| 床面積 (m ² /棟) | 木造建物 | A ₁ | <ul style="list-style-type: none"> 固定資産の価格等の概要調書（総務省）から床面積総数（m²）及び棟数総数（棟）の情報を入手し、床面積総数を棟数総数で除することで1棟あたり床面積（m²/棟）を算出する。 ※ 各自治体において、平時に算出しておくことが望ましい。 |
| | 非木造建物 | A ₂ | |
| 解体棟数の木造、非木造の内訳 (-) | 木造：非木造 | r ₁ ：r ₂ | <ul style="list-style-type: none"> 震度6強時における建物倒壊率と住宅・土地統計調査（総務省）における建物存在比より、木造・非木造の解体棟数の内訳を算出する。 ※ 全都道府県の内訳を算出し、一覧表として整理済み |
| 解体率 (-) | 全壊 | b ₁ | <ul style="list-style-type: none"> 過去の災害実績に基づき、被害棟数を説明変数に、公費解体棟数を目的変数とし、全壊・半壊それぞれの被害棟数に対する公費解体棟数の割合として解体率を設定した。 |
| | 半壊 | b ₂ | |
| 片付けごみ及び公物等量の原単位 (t/棟) | t/棟 | CP | <ul style="list-style-type: none"> 過去の災害実績に基づき、被害棟数を説明変数に、片付けごみ及び公物等量を目的変数として、回帰分析を行った。 全壊棟数に対する原単位として設定した。 |

「災害廃棄物全体量」の新推計式

$$Y = (X_1 + X_2) \times a \times b_1 + (X_3 + X_4) \times a \times b_2 + (X_1 + X_2) \times CP$$

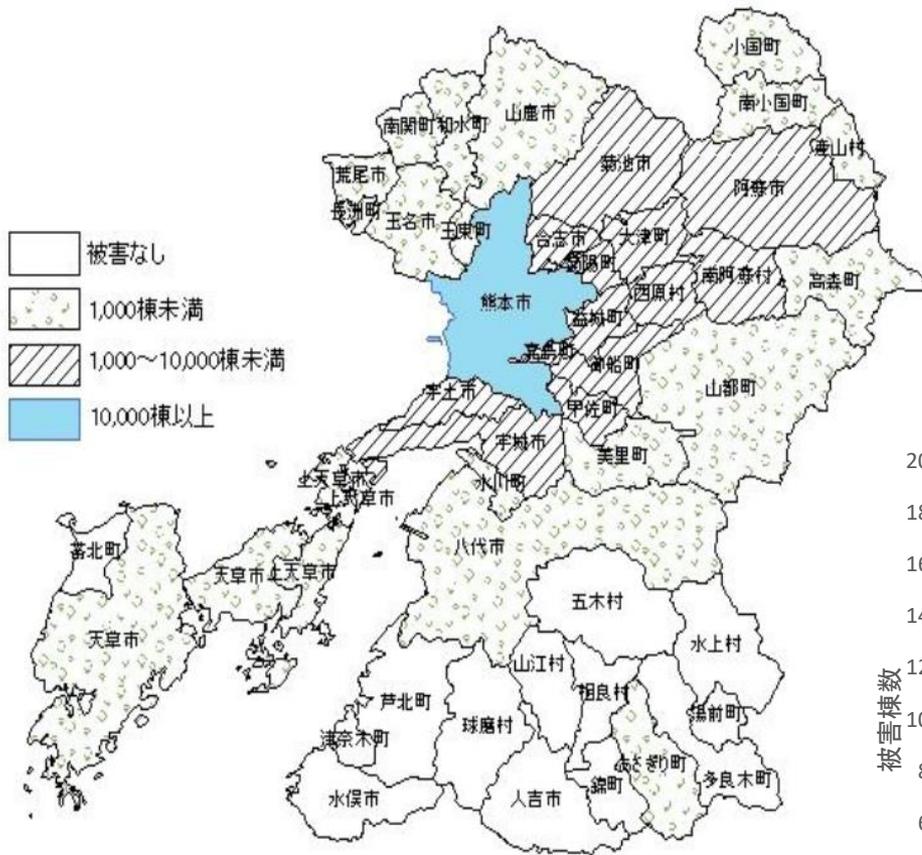
(全壊解体廃棄物) + (半壊解体廃棄物) + (片付けごみ及び公物等量)

- ・添え字 1：住家全壊，2：非住家全壊，3：住家半壊，4：非住家半壊
- ・ $a = A_1 \times a_1 \times r_1 + A_2 \times a_2 \times r_2$
 A_1 ：木造床面積 (m²/棟)、 A_2 ：非木造床面積 (m²/棟)
 a_1 ：木造原単位 (t/m²)、 a_2 ：非木造原単位 (t/m²)
 r_1 ：解体棟数の構造内訳 (木造) (-)、 r_2 ：解体棟数の構造内訳 (非木造) (-)
- ・ b_1 ：全壊建物解体率、 b_2 ：半壊建物解体率

| 項目 | 細目 | 記号 | 単位 | 地震 (揺れ) | 地震 (津波) | 水害 | 土砂災害 |
|----------------|--------|---------------|-------------------|------------------------------|---------|------|------|
| 発生原単位 | 木造建物 | a_1 | t/m ² | 0.5 (0.48) | | | |
| | 非木造建物 | a_2 | t/m ² | 1.2 (1.20) | | | |
| 床面積 | 木造建物 | A_1 | m ² /棟 | 固定資産の価格等の概要調書 (総務省) より入手 | | | |
| | 非木造建物 | A_2 | m ² /棟 | 固定資産の価格等の概要調書 (総務省) より入手 | | | |
| 解体棟数の木造、非木造の内訳 | 木造：非木造 | r_1 ： r_2 | - | 都道府県ごとの内訳を算出し、 一覧表に整理 | | | |
| 解体率 | 全壊 | b_1 | - | 0.75 | 1.00 | 0.50 | |
| | 半壊 | b_2 | - | 0.25 | 0.25 | 0.10 | |
| 片付けごみ及び公物等量 | 全壊 | CP | t/棟 | 53.5 | 82.5 | 30.3 | 164 |

：災害の種類 (地震 (揺れ)、地震 (津波)、水害、土砂災害) ごとに設定が必要な係数

熊本地震における建物被害棟数の推移



建物被害状況(平成28年6月1日 現在)

環境省による推計量 = 被害棟数(棟) × 原単位(t/棟)※

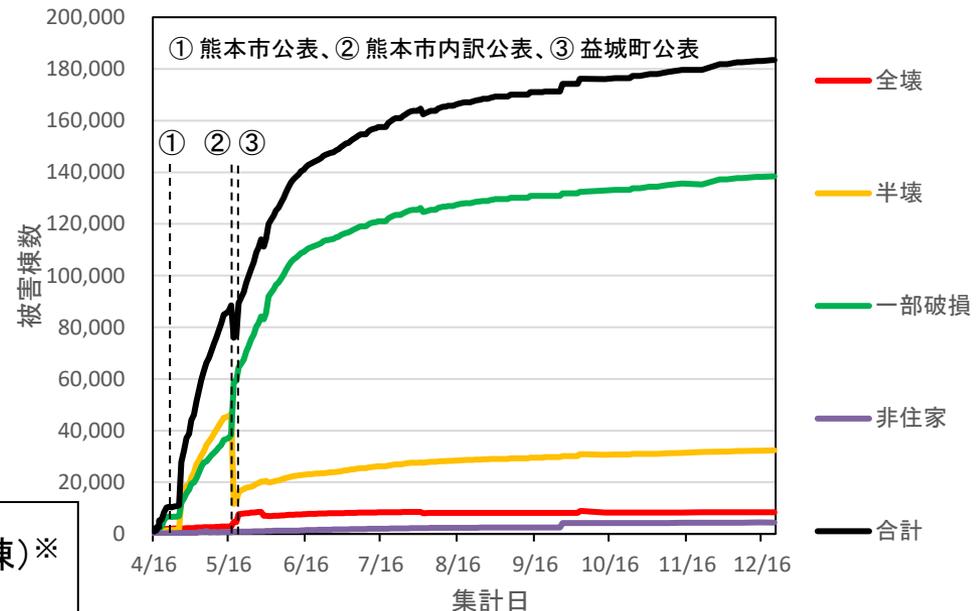
※ 全壊 116.9, 半壊 23.4, 一部損壊 4.6 t/棟

熊本県の損壊棟数

(単位:棟数)

| | |
|------|---------|
| 全壊 | 8,361 |
| 半壊 | 32,284 |
| 一部破損 | 138,383 |
| 非住家 | 4,398 |
| 合計 | 183,426 |

災害対策本部会議、12月21日発表



建物被害棟数の推移(平成28年12月21日まで)

災害廃棄物処理に関する基本方針

熊本県災害廃棄物処理対策会議 配布資料、平成28年5月18日開催

○ 処理主体

市町村

県の役割

- ・ 迅速、円滑に処理するための広域調整
- ・ 被災市町村が処理困難な事務は事務委託により代行

○ 災害廃棄物の発生量推計

現時点で、概ね100万トンから130万トン(環境省独自推計 平成28年5月11日暫定値)

○ 処理期間

被災後、2年以内の処理終了を目標

| | | |
|-----|-----------|----------|
| 熊本県 | 平成28年6月1日 | 約 195万トン |
| | 平成29年5月1日 | 約 289万トン |
| | 平成31年3月末 | 約 311万トン |

○ 処理方法

- ・ 可能限り再生利用(リサイクル)と減量化を図り、埋立処分量を低減
- ・ 原則的に、市町村の一般廃棄物処理施設で処理
 - 困難な場合は、県内の一般廃棄物および産業廃棄物処理施設を活用
 - 場合によっては、県外の処理施設を活用
- ・ 迅速な処理及び処理コストの削減のための分別の徹底

全関係者(市民や解体業者を含む)による分別の重要性について共通認識

災害廃棄物発生量の推定方法と精度について

$$\text{災害廃棄物量} = \text{被害規模 (例: 建物被害棟数)} \times \text{原単位}$$

(1) 発災前

- ・ 予測震度分布と建物被害想定(構造、年代:新旧耐震基準(1981年新基準))

(2) 発災の直後

- ・ 光学衛星画像、SAR衛星画像(合成開口レーダ)
- ・ 空中写真、UAV(ドローン)画像
- ・ 観測震度分布と建物被害想定(構造・年代、フラジリティ曲線)

(3) 発災の数週間～数か月

- ・ 応急危険度判定(建築診断結果、要注意・危険判定)
- ・ 罹災証明受付、公費解体申請

(4) 発災の数か月以降

- ・ 解体現場でのトラックスケールによる重量実測(モデル解体)
- ・ 測量

災害廃棄物処理量※、及び組成の変動要因について

※ 災害等廃棄物処理事業費補助金対象の範囲(公費解体の範囲)

- **激甚災害の指定**

国庫補助の嵩上げや中小企業に対する支援など、特別の助成措置

- **補助金対象となる廃棄物の種類**

生活ごみ、片付けごみ、避難所ごみ、家屋解体廃棄物、公共建物 など

- **補助金対象となる建物被害の範囲**

全壊、大規模半壊、半壊、一部損壊

- **補助金対象となる建物の範囲**

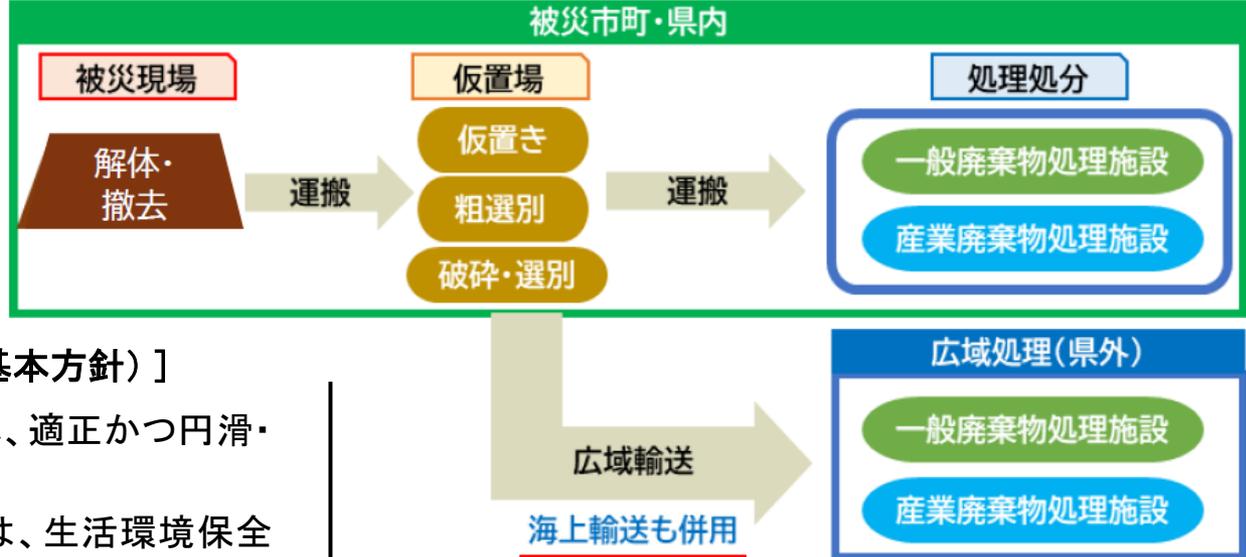
建物の基礎(布基礎、べた基礎)、ブロック塀 など

- **その他**

自費解体、災害の遭遇頻度 → 片付けごみ減少

2. 船舶の活用による災害廃棄物の輸送と処理

令和6年能登半島地震に係る石川県災害廃棄物処理実行計画



[処理の基本的な考え方(基本方針)]

- 被災者の生活再建を最優先とし、適正かつ円滑・迅速な処理を行う。
- 災害廃棄物の処理にあたっては、生活環境保全等に留意するとともに、可能な限り分別、選別、再生利用等を行い、最終処分量の低減に努める。
- 損壊家屋等の解体・撤去は、現場における分別解体を原則とする。
- 市町の一般廃棄物処理施設での処理を原則とし、自市町での処理が困難な場合は、県内の一般廃棄物や産業廃棄物の処理施設を活用するとともに、目標処理期間内での処理完了に向け、県外での**広域処理(海上輸送を含む)を行う。**

災害廃棄物処理工程イメージ

出所：
石川県、令和6年能登半島地震に係る石川県災害廃棄物処理実行計画、令和6年2月29日策定

令和6年能登半島地震における広域処理(県外)

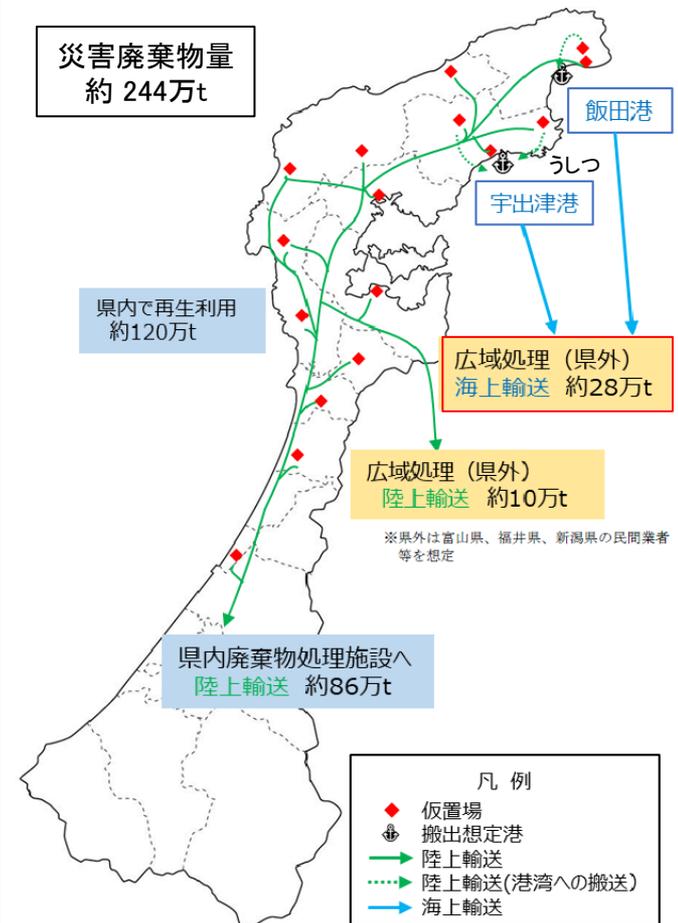
災害廃棄物の処理は市町の一般廃棄物処理施設での処理を原則とするが、自市町での処理が困難な場合は、県内の一般廃棄物や産業廃棄物の処理施設を活用するとともに、目標処理期間内での処理完了に向け県外での広域処理を行う。

地震で崩落した自動車専用道路の全面復旧には時間を要する状況にある。速やかに災害廃棄物を搬出し、効率的に処分を行うため、以下の事項を踏まえ、車両による陸上輸送に加えて海上輸送による広域処理を行う。

- ・大量輸送(船舶、連結トレーラーの活用)
- ・大量処理(処理能力の高い大規模処理施設)
- ・短い輸送時間(近隣の処理施設)



可燃物、木くず、不燃物について、県内の受入能力を超過するものは、富山県、福井県、新潟県の民間事業者等により処理する。なお、今後、発生量が推計を上回る等の場合には、他の処理先も検討する。



災害廃棄物の輸送イメージ

船舶型基地局



KDDIオーシャンリンク

船舶型基地局



いぶり 平成30年北海道胆振東部地震に伴い日本初「船舶型基地局」の運用を開始

KDDIのニュースリリース、2018年9月8日付

船舶型基地局とは、船舶上に携帯電話の基地局を設置し、地震の影響で陸上基地局が十分機能していない周辺地域において、海上から陸上にアンテナを向けて電波を送信する通信技術である。KDDIは、2018年に発生した北海道胆振東部地震において、船舶型基地局によるネットワーク復旧に努めた。また、被災地域へ向けた飲料水・非常食等の救援物資を搭載・運搬しており、避難所等での利用予定である。

<https://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2018/09/08/3376.html>

病院船



新型コロナで医療支援の米海軍病院船 NYでの活動を終え帰還

日本経済新聞、2020年5月1日付

アメリカ海軍の病院船「コンフォート」は、最大で1000床のベッドを備え、医療従事者など1200人が乗り込む船内には、ニューヨーク州のほか、隣接するニュージャージー州から新型コロナウイルスの患者などが運ばれて手当てを受けました。

<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20200501/k10012413571000.html>

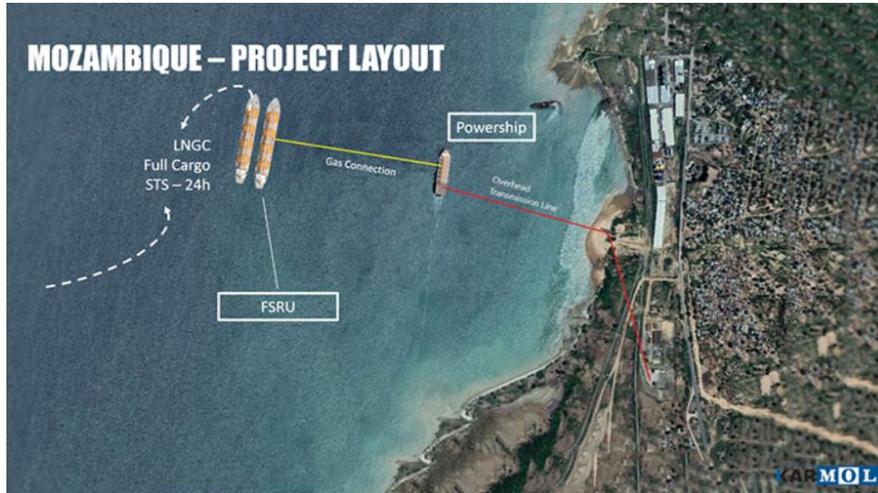
病院船、25年度に運用開始へ 岸田首相が計画づくり指示

日本経済新聞、2024年7月9日付

病院船は、地震をはじめ大規模災害が起きた際に負傷者らを被災地から離れた病院に搬送するほか、付近に接岸して救護にあたる。被災地の医療機関が機能不全になったり収容能力を超えたりした場合、外部から船舶による支援が必要になる。

<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUA091US0Z00C24A700000/>

発電船



LNG発電船事業のコンセプトデザイン



火力発電船



浮体式LNG貯蔵再ガス化設備



発電船

洋上発電船、トルコのカラデニズに脚光 欧州で供給へ
日本経済新聞、2023年3月21日付

ロシアのウクライナ侵攻に端を発する燃料危機で、トルコ企業の洋上発電に注目が集まっている。同国の複合企業、カラデニズ・ホールディングは電力供給に向け、初めて欧州の主要国政府との交渉を始めた。近隣国を經由し、電力不足のウクライナ向けに供給する計画もある。

<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOGR07D8H0X00C23A2000000/>

商船三井とKarpowership(トルコ)は、モザンビークにて世界初のLNG発電船事業(120メガワット)を共同で実施

商船三井ホームページ <https://www.mol.co.jp/pr/2019/19064.html>

沖縄県・島嶼地域の廃棄物適正処理促進事業の提案

【背景】

- ・不適正な中間処理施設、最終処分場
- ・小規模な廃棄物処理施設と不十分な維持管理
- ・技術管理者等の人材不足と困窮する財政
- ・廃棄物処理施設の老朽化、更新
- ・廃棄物のリサイクル・循環資源化の遅れ
- ・インバンド等による廃棄物排出量の季節変動
- ・農漁業系廃棄物、バイオマスの利活用促進
- ・漂着ゴミ等の対応
- ・観光資源の保全
- ・適正な災害廃棄物処理への懸念
- ・求められる災害時の海洋から支援

【対応策】

- ・台船、または船舶上での選別・焼却処理
- ・島嶼地域の広域処理、柔軟な巡回処理システム
- ・合わせ産業廃棄物処理による一括処理



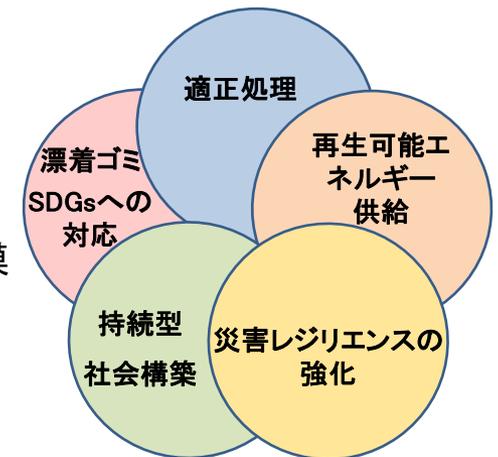
波照間島に入港してきた台船

【利点・特徴】

- ・廃棄物の集約による適正な処理規模の確保
- ・安全かつ効率的な焼却残渣のシーケンシャル輸送
- ・広域処理による生活環境と経済性の改善
- ・平時及び災害時の再生可能エネルギーの供給
- ・陸上処理より優位な漂着ゴミの適正処理
- ・島嶼地域の振興、持続型社会の構築に寄与
- ・海溝型地震の廃棄物処理施設のレジリエンス
- ・迅速な災害廃棄物処理対応による復興支援
- ・日本全国及びアジアの島嶼地域への展開

【課題】

- ・法的課題のクリア
海洋汚染防止法 など
- ・適正な広域処理の規模
- ・既存業者との連携
- ・事業主体
- ・LCAによるFS

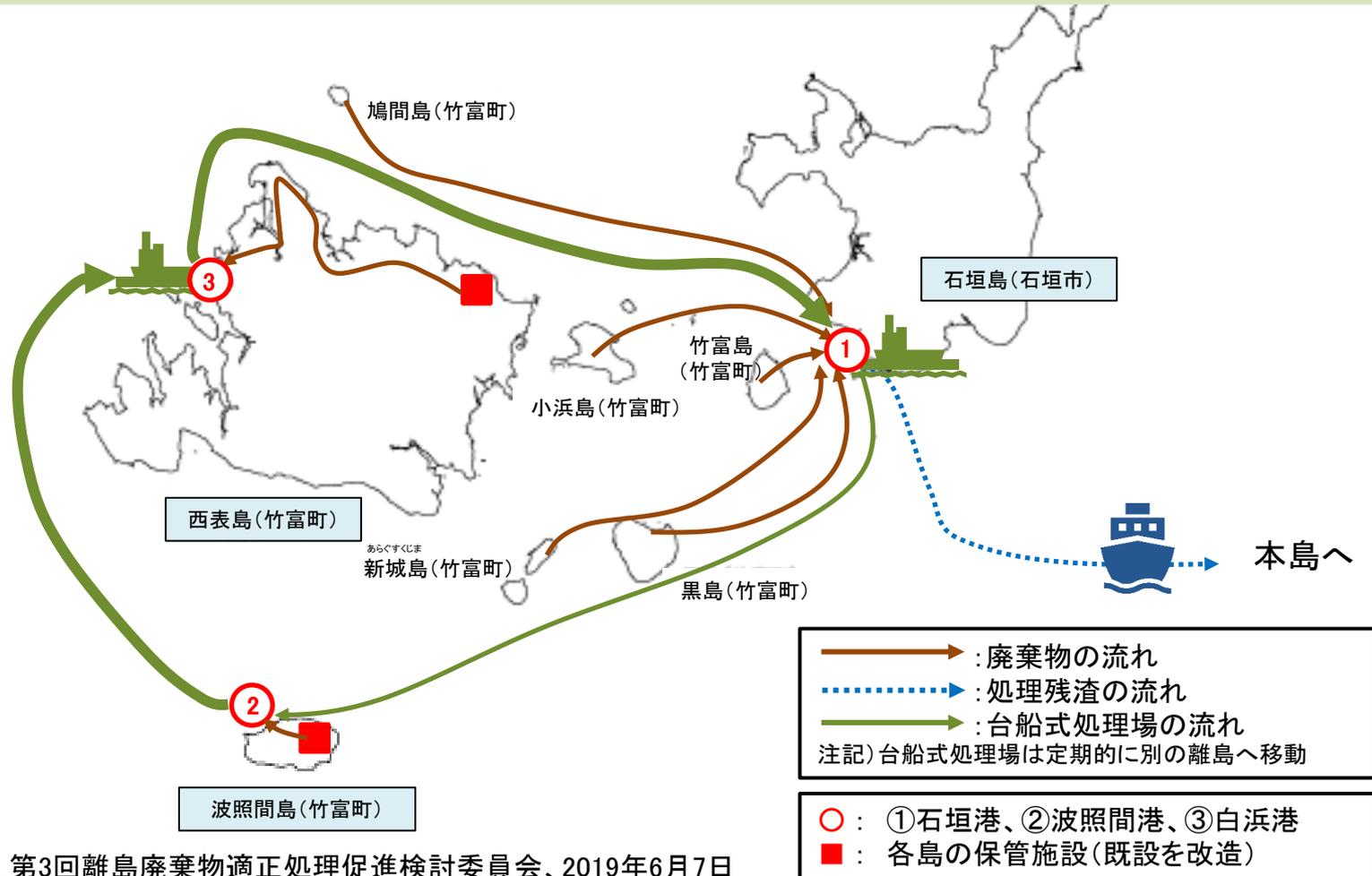


台船式処理による廃棄物適正処理の確立

八重山列島モデル(仮称)の運用方法(案1)

現地調査結果および処理対象物の見直しによる搬入量の推算により、八重山列島モデル(仮称)の運用方法(案)を以下に示す。

- ・台船はごみ排入量が多い石垣島を基点とし、**月1回**程度、波照間島および西表島を巡回する。
- ・焼却施設の立上げ、立下げ回数を減らすため、**石垣島および西表島**にて焼却処理を行う。
- ・西表島は**白浜港**(軍港として使用され、水深が深い)を台船の係留場所とする。

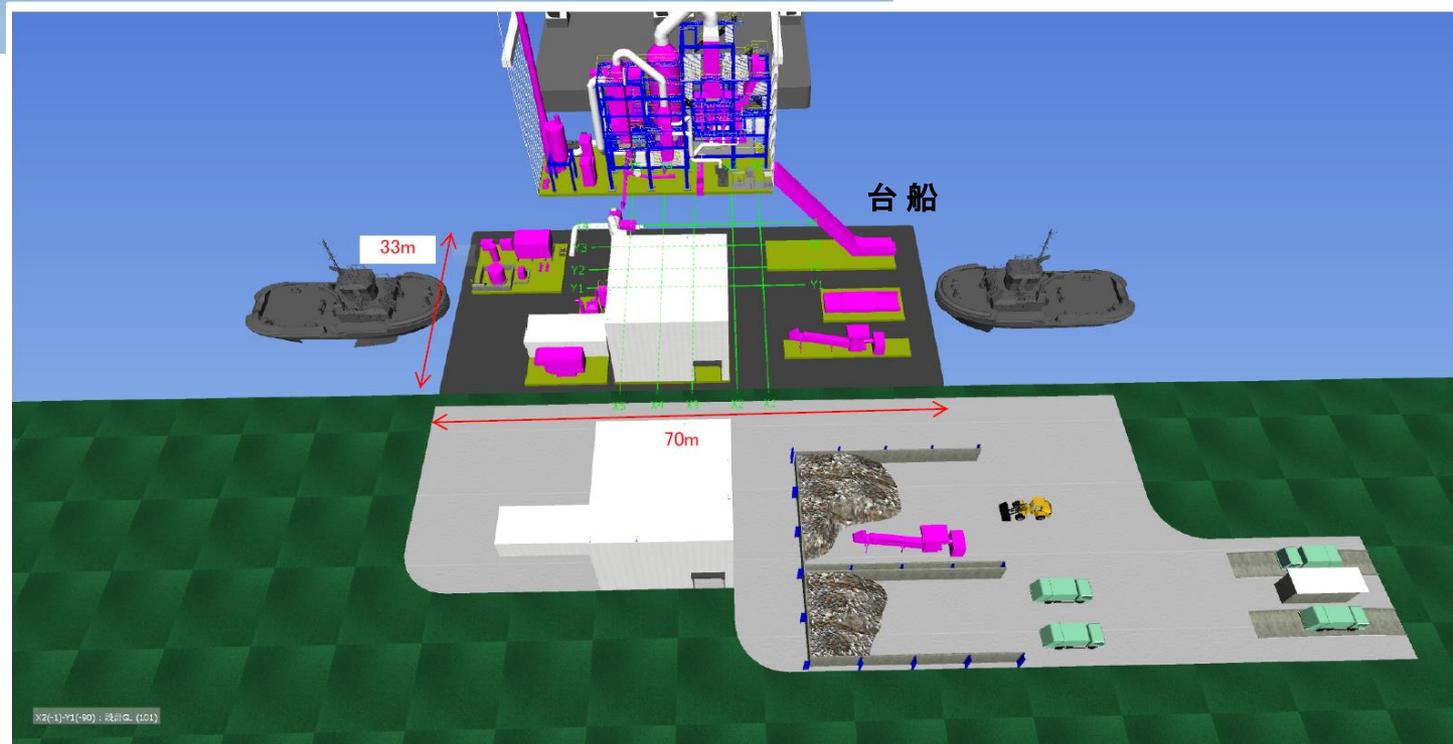
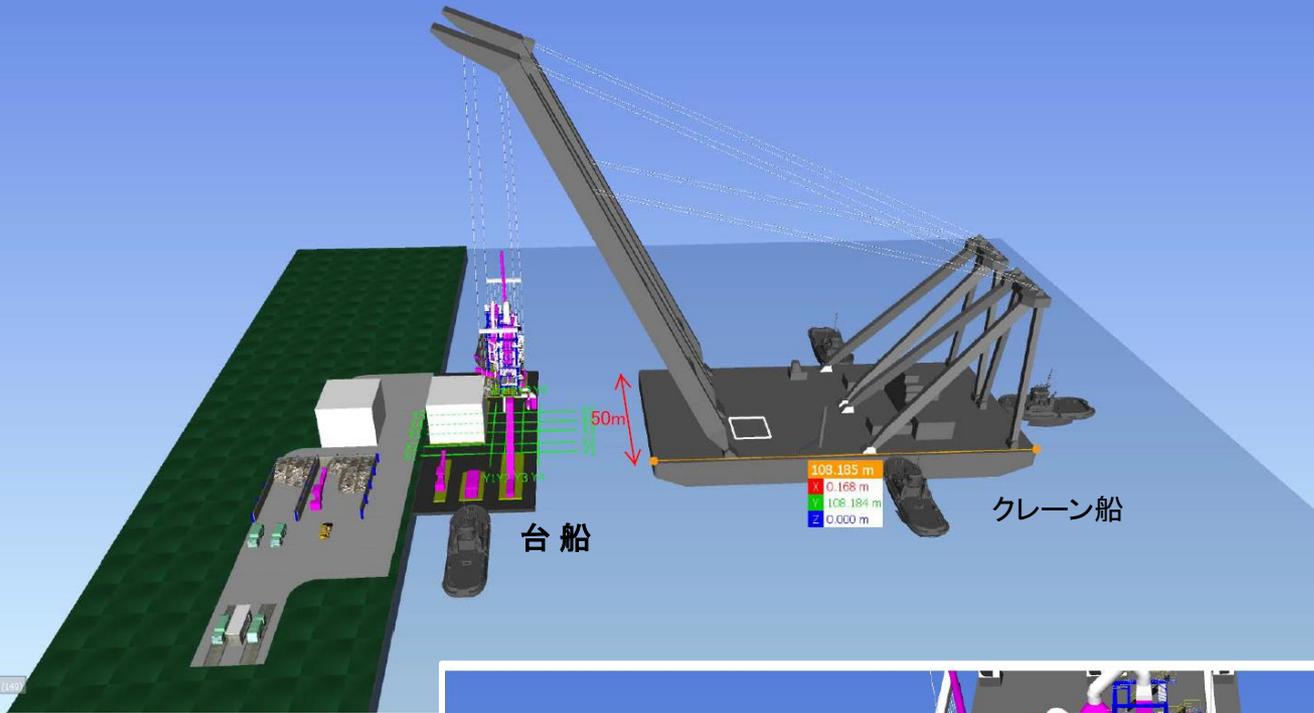


台船式廃棄物処理システムの コンセプト

想定処理能力 40 t/d

焼却に必要な機械設備

- ① 焼却炉本体
- ② 灰処理設備
- ③ ユーティリティ設備
- ④ 電気設備



島嶼地域における廃棄物処理事業のLCAに関する研究

九州大学工学部地球環境工学科、卒業研究

研究の背景と目的

島嶼地域の特徴

- ・人口規模が小さく各島に人口が分散
- ・島内で完結できない廃棄物処理
- ・島外への海上輸送

課題

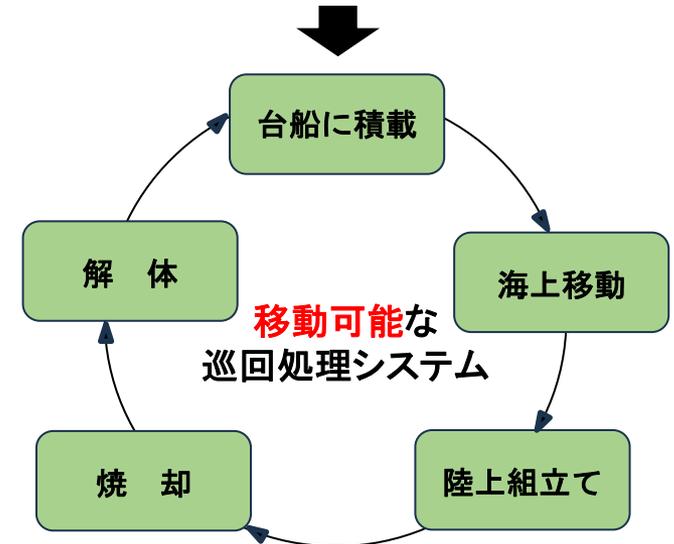
- ・収集人口が少なく、小規模な施設のためスケールメリットが発揮されない
 - ・近隣の島々との不十分な連携に伴い非効率な処理
 - ・海上輸送による運搬コストが高い
- ⇒非効率的な廃棄物処理となっている。

研究の目的

- ・島嶼間で連携を図った広域的な処理システムの構築
- ・廃棄物処理の効率化(処理コスト、二酸化炭素排出量の削減)

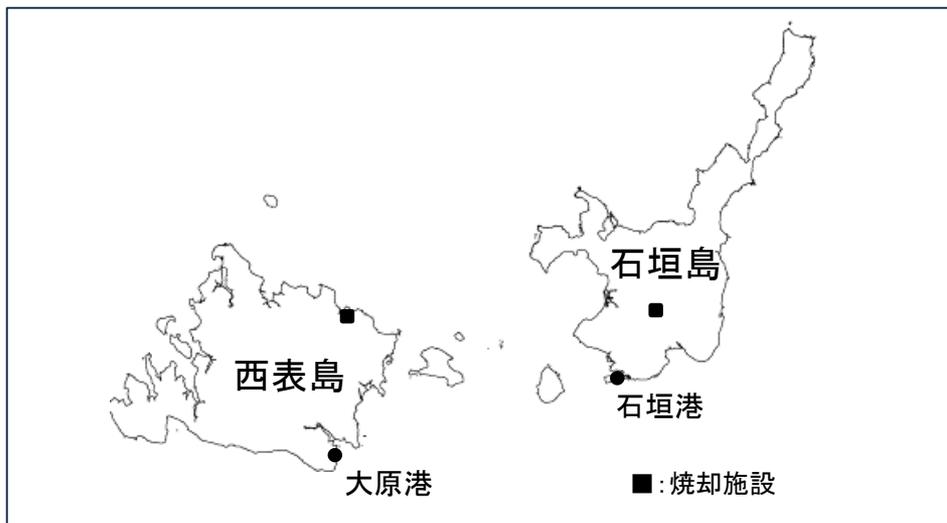
焼却に必要な機械設備

- ① 焼却炉本体
- ② 灰処理設備
- ③ ユーティリティ設備
- ④ 電気設備



台船式廃棄物処理の流れ

台船式廃棄物処理システムとは？



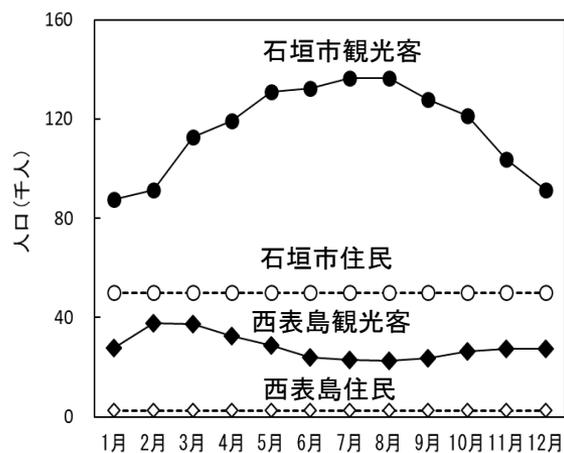
対象地域の地図

住民・観光客数の設定

| 人口(人) | 住民数 | 年間観光客数 |
|-------|------|--------|
| 石垣市 | 5万 | 139.2万 |
| 西表島 | 2.5千 | 33.8万 |

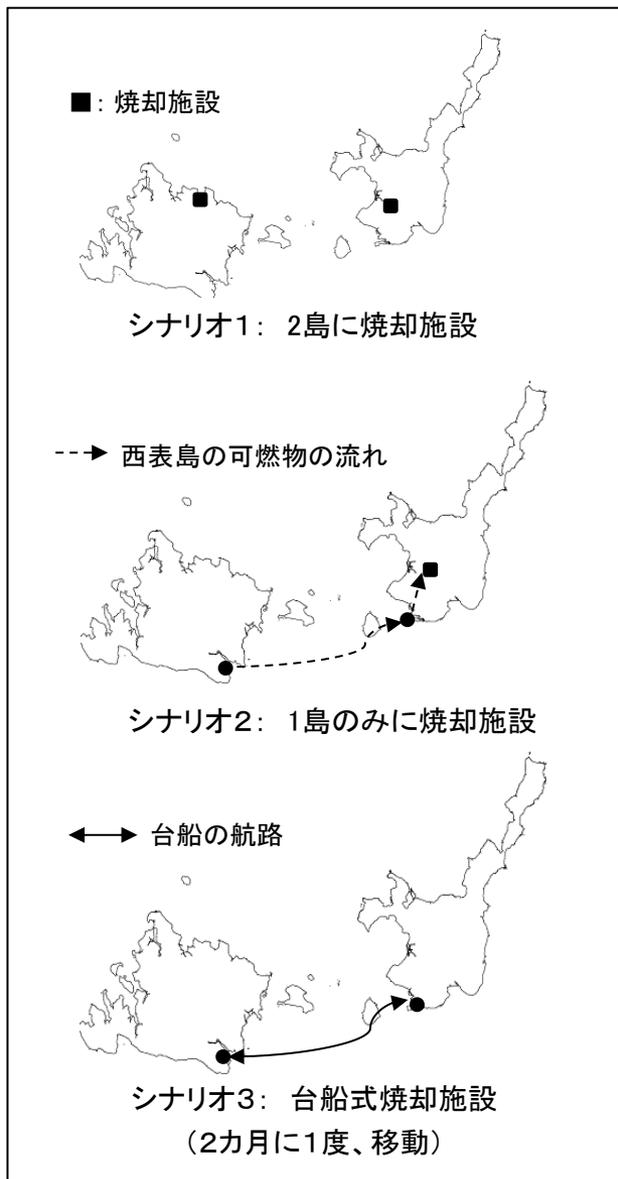
年間の可燃物排出量の設定

| 排出量(t/年) | 石垣市 | 西表島 |
|---------------------|--------|-------|
| 生活系ごみ ¹⁾ | 8,213 | 411 |
| 事業系ごみ ²⁾ | 7,758 | 670 |
| 合計 | 15,970 | 1,080 |



住民・観光客数の月別動態

- 1) 住民: 450 g/人/日
- 2) 観光客: 400 g/人/日 + 住民: 297 g/人/日



対象地域とシナリオ別の焼却設定

表 3シナリオによる処理コスト計算(¥)

| ライフサイクルコスト(千円/年) | 2島に焼却施設 | 1島のみに焼却施設 | 台船式焼却施設 |
|------------------|----------------|----------------|----------------|
| 建設費 | 110,519 | 98,646 | 86,744 |
| 船舶購入費 | 0 | 0 | 10,000 |
| イニシャルコスト小計 | 110,519 | 98,646 | 96,744 |
| 運搬・移動費 | 0 | 16,620 | 163 |
| 設置・撤去費 | 0 | 0 | 20,417 |
| 人件費 | 82,000 | 70,000 | 70,000 |
| 電力・燃料費 | 37,455 | 37,144 | 32,912 |
| 水道費 | 5,362 | 5,348 | 5,263 |
| 薬品費 | 2,006 | 2,079 | 2,265 |
| 整備補修費 | 57,263 | 49,323 | 43,372 |
| ランニングコスト小計 | 184,087 | 180,515 | 174,394 |
| 合計 | 294,606 | 279,161 | 271,138 |
| トン当たりコスト(円/t) | 17,513 | 16,646 | 16,343 |

表 3シナリオによる二酸化炭素排出量の比較(CO₂)

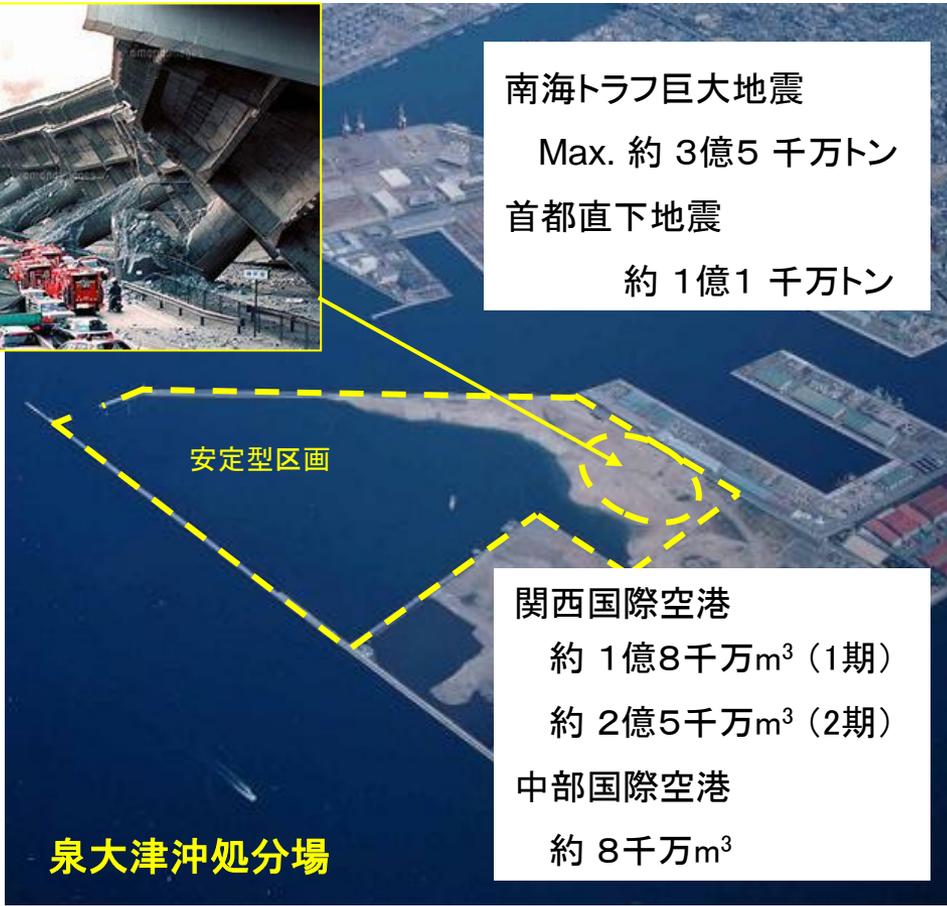
| 二酸化炭素排出量(kg-CO ₂ /年) | 2島に焼却施設 | 1島のみに焼却施設 | 台船式焼却施設 |
|---------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 直接排出量 | 912,356 | 880,673 | 824,507 |
| 燃料 | 37,347 | 1,411 | 45,419 |
| 電力 | 875,010 | 879,262 | 779,088 |
| 間接排出量 | 12,923,788 | 11,155,960 | 9,597,086 |
| 薬剤 | 126,450 | 131,547 | 53,480 |
| 水道水 | 42,132 | 42,021 | 41,354 |
| 土木・建築工事 | 46,276,231 | 39,859,541 | 35,050,547 |
| 整備補修 | 647,867 | 558,034 | 490,708 |
| 二酸化炭素排出量(kg-CO ₂ /年) | 13,836,144 | 12,036,633 | 10,421,594 |
| 二酸化炭素排出量(kg-CO ₂ /t) | 823 | 718 | 628 |

- 3つのシナリオにおいて、処理コストにおいても二酸化炭素排出量においても**台船式処理が最も小さな値**となった。
- 台船式焼却施設による処理コストは、1島に焼却施設を建設したシナリオと比較して約**97%**と大きな変化はなかったが、**二酸化炭素排出量は約87%**と大きな差が見られた。処理コストは**移動回数を減らす**ことで、さらに削減できる。

3. 環境修復材、環境創造資材としての災害廃棄物の有効利用



阪神・淡路大震災において
倒壊した阪神高速道路



(参考) 災害廃棄物等の発生量の推計

目的

- 東日本大震災の実績等を参考に、新しい原単位を設定した上で、地域毎の災害廃棄物等の発生量を推計する。
- 災害廃棄物が地域に与える影響を概略的に把握し、対応の方向性を検討するための基礎的な情報とする。

災害廃棄物及び津波堆積物の推計結果

- 南海トラフ巨大地震では、最大で災害廃棄物が約3億2千万トン、津波堆積物が約3千万トン発生と推計。内閣府の推計値(全壊のみを対象)よりも、半壊・床上浸水・床下浸水を被害想定に追加した分、大きな数値となっている。
- 首都直下地震では、最大で災害廃棄物が約1億1千万トン発生と推計。
- 東日本大震災の発生量(災害廃棄物約2千万トン、津波堆積物約1千万トン)と比較して、南海トラフ巨大地震では最大で約16倍の災害廃棄物と約3倍の津波堆積物が発生し、首都直下地震では最大5倍強の災害廃棄物が発生。

| | 発生原単位 トン/棟 | | 本検討の推計結果 億トン | | | 内閣府 億トン |
|-----------|---|---|----------------------------|-------|-------------------|------------|
| | 火災焼失 | 液状化、揺れ、津波 | 災害廃棄物 | 津波堆積物 | 合計 | |
| 南海 トラフ | 木造: 78 (全壊の約34%減) 非木造: 98 (全壊の約16%減) | 全壊 :117 半壊 :23 床上浸水:4.60 床下浸水:0.62 | 約2.70~3.22 (火災の影響最小~最大) | 約0.27 | 約2.97~3.49 | 約2.78 |
| 首都直下 | 木造: 107 (全壊の約34%減) 非木造: 135 (全壊の約16%減) | 全壊 :161 半壊 :32 | 約0.65~1.10 (火災の影響最小~最大) | — | 約0.65~1.10 | 約0.98 |

今後の課題

- 発生原単位の精度の向上を図り、地域の実情を踏まえて、地域ブロック毎の検討を深める。
- 検討対象とすべき地震のケースについて具体のシナリオを整理し、地域ブロックの特性を考慮して、災害廃棄物等の発生量を推計(都道府県・市町村単位で整理)する。

(参考) 災害廃棄物等の要処理量と処理施設における処理可能量との比較検討

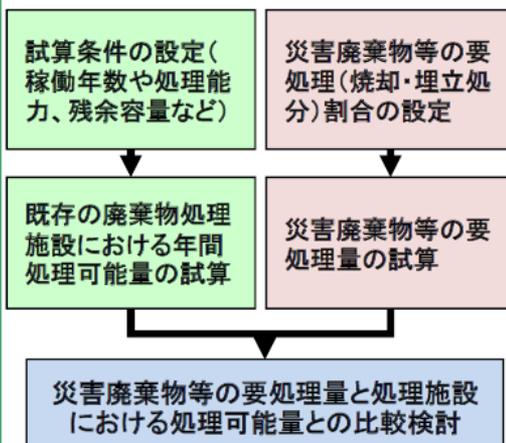
目的

- 災害廃棄物等の推計量から要処理量を試算し、一定の制約条件を仮定した既存の廃棄物処理施設における年間処理可能量と比較する。
- 既存の施設における対応可能性を概略的に把握し、仮設処理施設の必要規模や広域連携の必要性について検討するための基礎的な情報とする。

比較検討結果

- 南海トラフ巨大地震では、被害が広範囲に及び、全国総計との比較でも焼却処理に6～8年、埋立処分に8～20年の大きな処理相当年数を要する。
- 首都直下地震では、関東ブロック内で焼却処理に3～4年、埋立処分に8～26年の大きな処理相当年数を要する。

要処理量と処理施設における処理可能量との比較検討フロー



地域ブロック内での処理相当年数（要処理量/既存施設の年間処理可能量）の試算結果

(南海トラフ巨大地震)

| 地域 | 要焼却量 (万トン) | 処理相当 年数 | 要埋立処分量 (万m ³) | 処理相当 年数 |
|-------------|--------------------|-------------|------------------------------|--------------|
| 東北地方 | 0 | 0年 | 0 | 0年 |
| 関東地方 | 30～38 | 0年 | 30～60 | 0年 |
| 中部地方 | 1,239～1,548 | 10～13年 | 887～1,897 | 16～34年 |
| 近畿地方 | 1,160～1,449 | 12～15年 | 889～2,295 | 18～45年 |
| 中国地方 | 225～282 | 3年 | 147～313 | 6～14年 |
| 四国地方 | 1,132～1,415 | 25～31年 | 782～1,660 | 68～144年 |
| 九州地方 | 320～400 | 5～6年 | 236～486 | 5～10年 |
| 全国総計 | 4,106～5,133 | 6～8年 | 2,970～6,711 | 8～20年 |

(首都直下地震)

| 地域 | 要焼却量 (万トン) | 処理相当 年数 | 要埋立処分量 (万m ³) | 処理相当 年数 |
|------|---------------|------------|------------------------------|------------|
| 関東地方 | 482～603 | 3～4年 | 698～2,213 | 8～26年 |

※要焼却量・要埋立処分量の範囲は、火災の影響が最小～最大のケース。

※処理相当年数とは一定の制約条件のもと算出した年間処理可能量に対する要処理量を年数に換算したものの。処理期間ではない。

今後の課題

- 個々の施設の事情も考慮して、既存施設における処理可能量の精度の向上を図るとともに、地域の特性を踏まえて要処理割合を設定し、地域ブロック毎の検討を深める。
- 特に南海トラフ巨大地震では、隣接するブロックも同時に被災することを想定した広域連携の考え方や仮設処理施設の供給制約についても検討する。

背景・目的

➤ 背景

- 首都直下地震では大量の災害廃棄物の発生が想定される。

首都直下地震のコンガラ発生量
約 6,400万t (=70%)¹⁾ > 全国の年間コンガラ排出量
約 5,700万t²⁾

- コンクリートガラ(コンガラ)は主に路盤材として利用されるが、需要量は年々減少している。
- 発災後、膨大な発生量を短期間ですべて受け入れることは難しい。
⇒ **コンガラの新たな受け入れ先の確保が課題である。**

➤ 目的

- 新たな受け入れ先としての海洋利用(マウンド礁造成、海底窪地充填)のライフサイクルCO₂(LCCO₂)、ライフサイクルコスト(LCC)の評価を行う。
- マウンド礁造成のブルーカーボン効果を含めた評価および新材との代替効果の評価を行い、マウンド礁造成としての有効利用の可能性を検討する。

1) 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

2) 環境省：令和4年度事業 産業廃棄物排出・処理状況調査報告書、2023

➤ 災害によるコンクリート塊の需給バランスの崩壊

供給の増加

・首都直下地震時には約6,400万トンのコンクリート塊の発生が想定

需要の減少

・新規道路事業の減少などで路盤材の需要が低下

➤ **災害廃棄物の新たな受け入れ先の確保が課題**

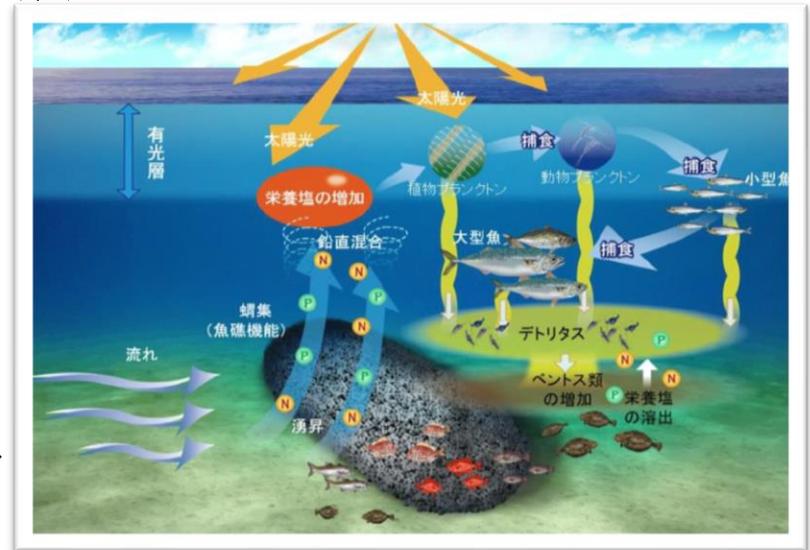
➤ 新たな受け入れ先として海洋利用に着目^{1)、2)}

① マウンド礁(人工海底山脈)

- ・海底にブロックを投入して形成する、山脈状の構造物である。
- ・漁業生産の増大が期待される。

② 海底窪地

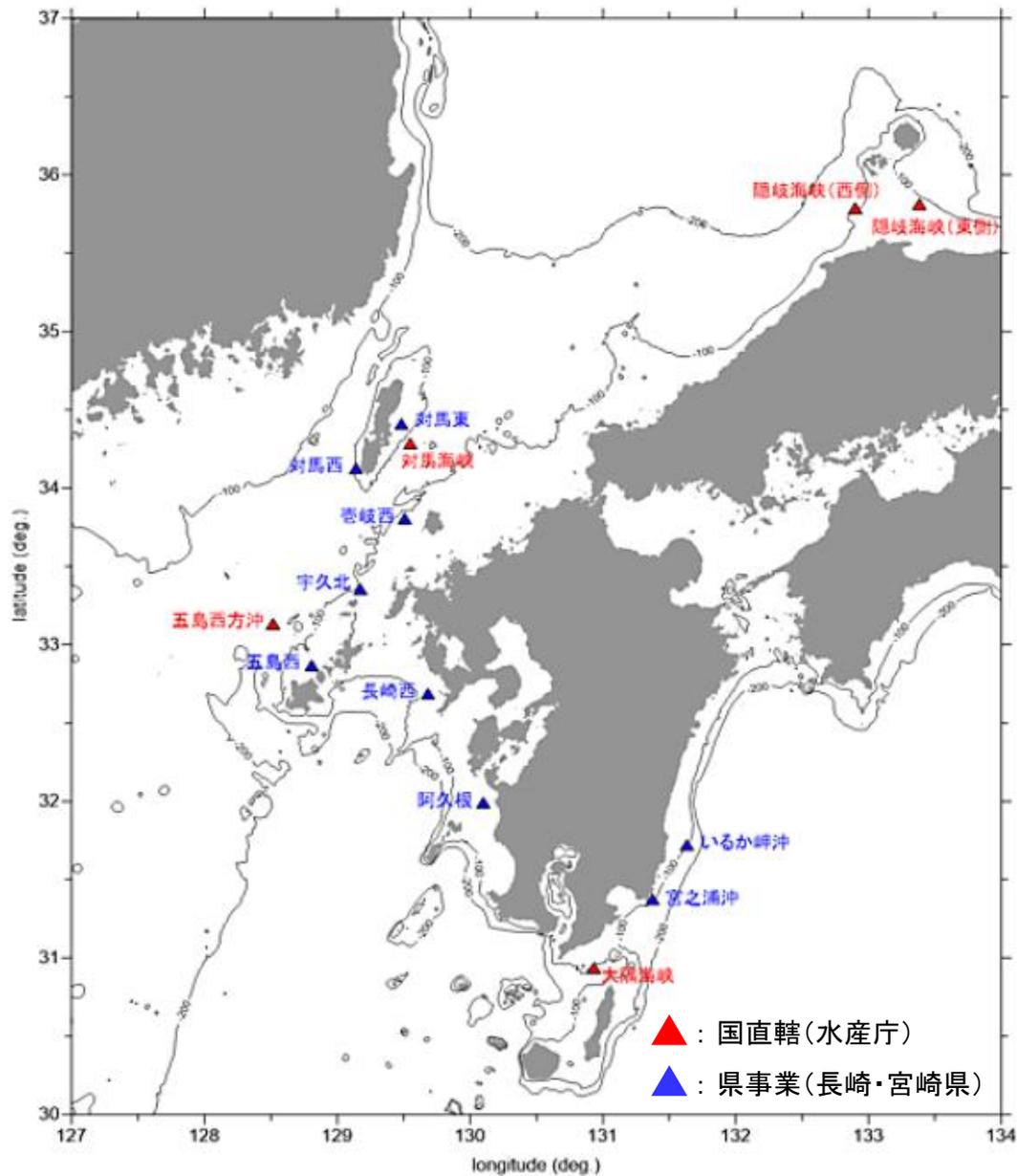
- ・東京湾等には複数の海底窪地が存在し、貧酸素化をもたらす一因となっている。



マウンド礁のイメージ(出所:水産庁)

1) 宇佐見貞彦、加納光、松山眞三、坂本嵩延:首都直下地震時における災害廃棄物処理の可能性、第28回廃棄物資源循環学会研究発表会講演原稿、2017

2) 人工海底山脈研究所:震災時に発生するコンクリート殻による人工海底山脈の造成可能性に関する基礎調査業務、2020.10 26



マウンド礁は、水深100m前後の未利用の沖合海底上に、石材やブロックを投入して造成する山脈状の構造物である。

マウンド礁の実績(1989~2011年)

海底窪地の一例

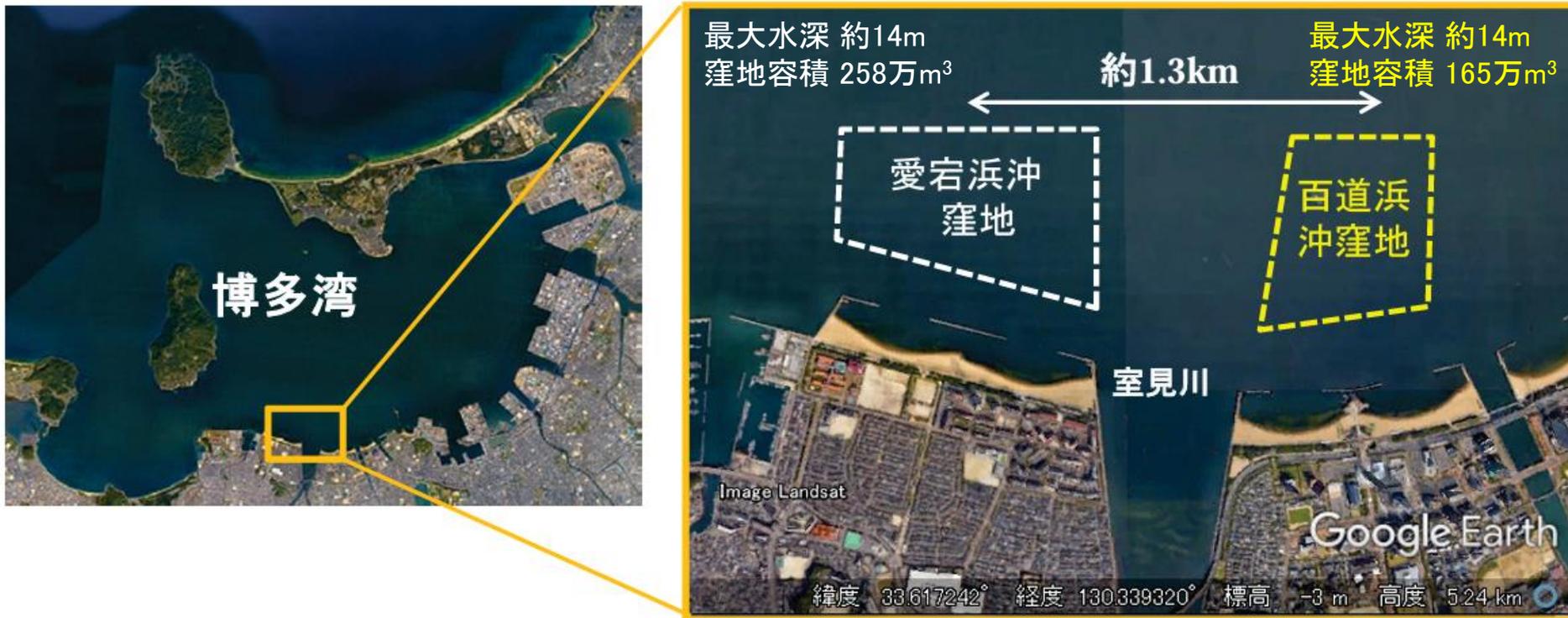


図 博多湾における窪地位置

出所:横山哲弘、首藤啓、中嶋さやか、河井崇:博多湾窪地埋め戻しによる海域環境の改善、土木学会論文集B2(海岸工学)、Vol.73、No.2、p.I_1357、2017

目的 1

ライフサイクルCO₂(LCCO₂)、ライフサイクルコスト(LCC)の算出を通して、巨大災害時に発生するコンクリート塊の「海洋利用」という新たな出口を評価する。

検討内容

- 1-1 従来型出口と海洋利用出口のLCCO₂、LCCの比較検討
- 1-2 線形計画モデルを用いた、各再利用先への最適分配の検討

出所：手島洋紀、沖本翔希、中山裕文、島岡隆行、大迫政浩、太田垣貴啓：首都直下地震を想定した災害廃棄物の海洋利用に関するライフサイクルアセスメント(その1)、第35回廃棄物資源循環学会研究発表会、pp,277-278、2024.9

1-1 LCCO₂、LCCの算出

〈シナリオの設定〉

コンクリート塊の再利用先として、

- 路盤材利用（従来の利用）
- マウンド礁利用（新たな利用）
- 海底窪地充填利用（新たな利用）

を設定し、各再利用におけるLCCO₂ (Life Cycle CO₂)、LCC (Life Cycle Cost)を算出した。

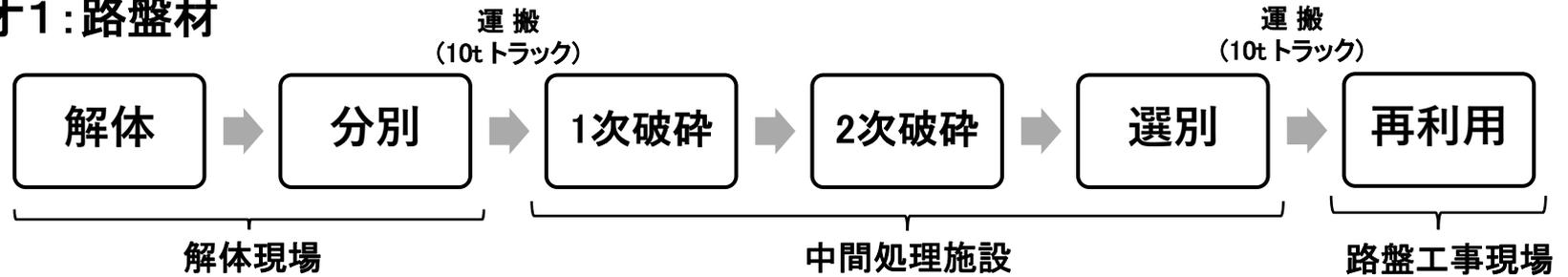
〈機能単位・システム境界の設定〉

表 研究における機能単位・システム境界

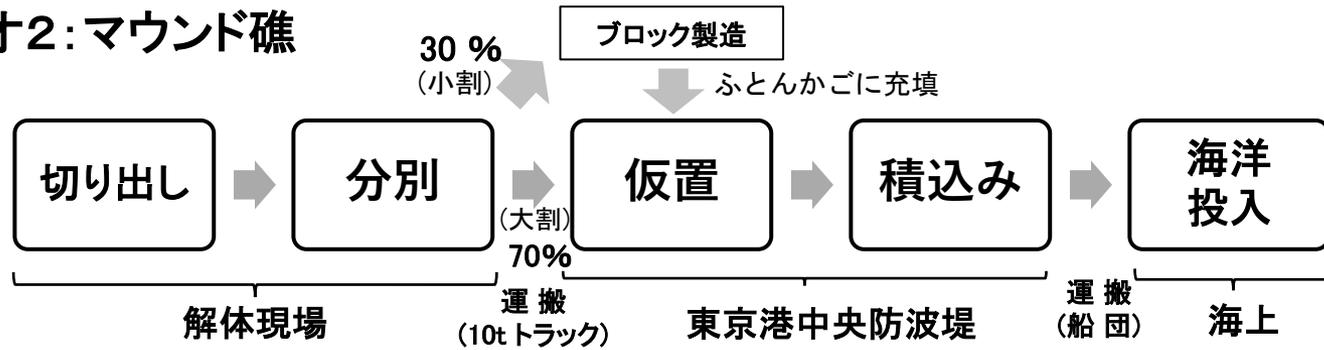
| 項目 | 内容 |
|--------|--|
| 機能単位 | 足立区において、震災により発生が想定されているコンクリート塊の総量である238万t ※を有効活用すること |
| システム境界 | 構造物が解体されてから各再利用先での利用が完了するまで |

※ 足立区災害廃棄物処理計画

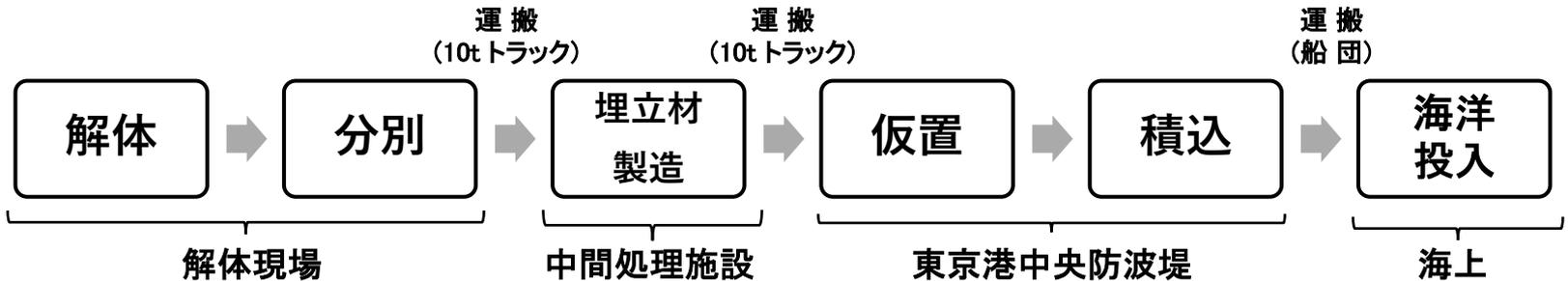
シナリオ1:路盤材



シナリオ2:マウンド礁



シナリオ3:海底窪地充填



1-1 結果・考察

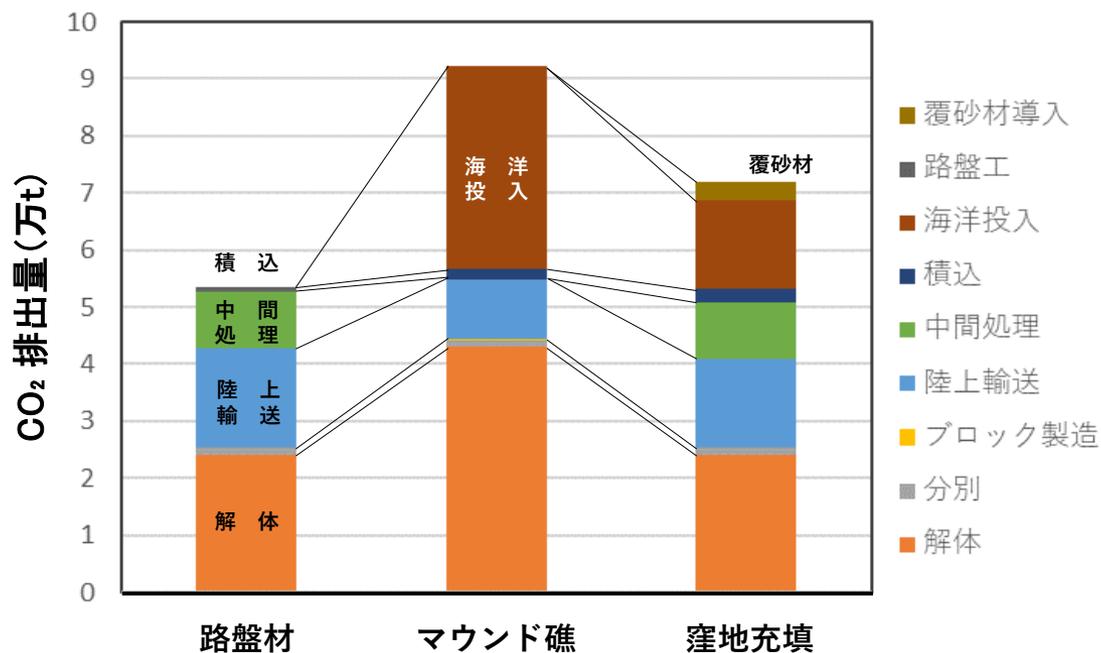


図 各シナリオのLCCO₂計算結果

各利用先のLCCO₂は、路盤材利用と比較して、マウンド礁では1,7倍、窪地充填では1,3倍となった。

LCCの算出

表 各工程の処理単価

| 項目 | 単価 (円/t) | 備考 |
|---------------|----------|--|
| 解体 | 13,725 | |
| 陸上輸送(10tトラック) | 80 | |
| 中間処理 | 7,707 | 平常時の1.5倍に設定 |
| 路盤工事 | 11,296 | 再生砕石の価格を平常時の1.27倍に設定 |
| 積込 | 247 | ラフテレーンクレーン(25t吊)、クローラクレーン(50t吊) |
| マウンド礁造成工事 | 13,156 | 船団: 押船(鋼D2000PS)、土運船(鋼1300m ³ 積) |
| 窪地充填工事 | 20,328 | 船団: 押船(鋼D2000PS)、土運船(鋼1300m ³ 積)、引船(鋼D1000PS)、落下混合船 |

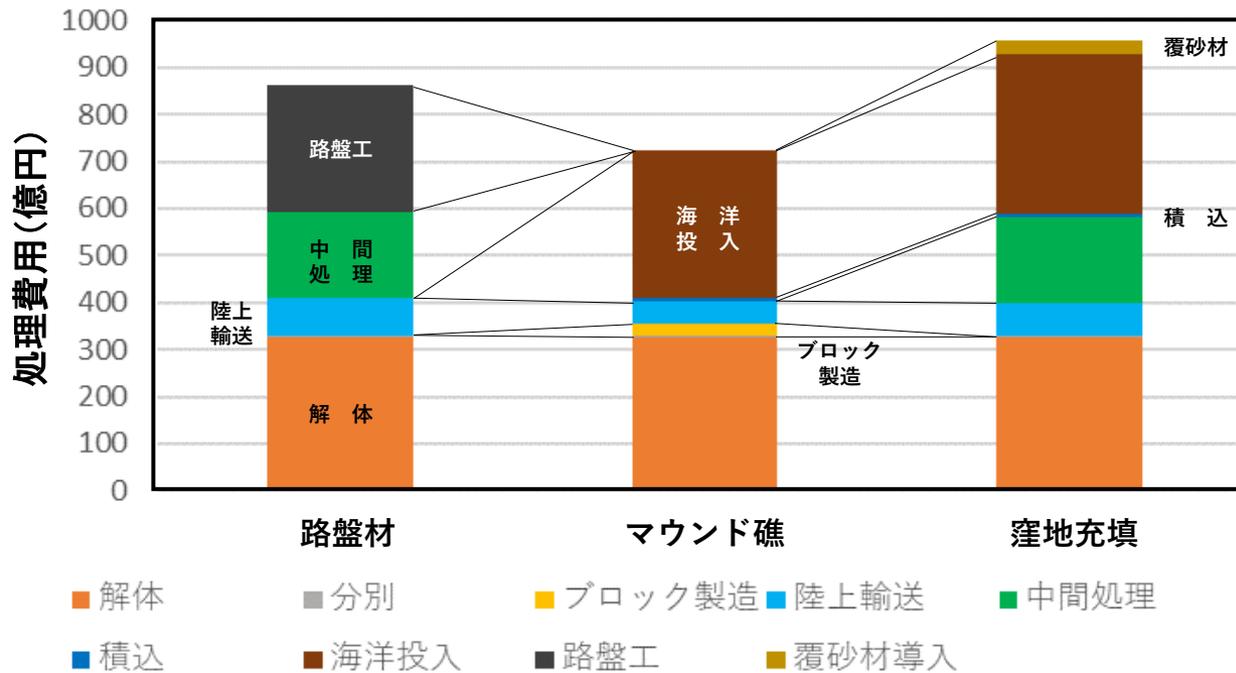
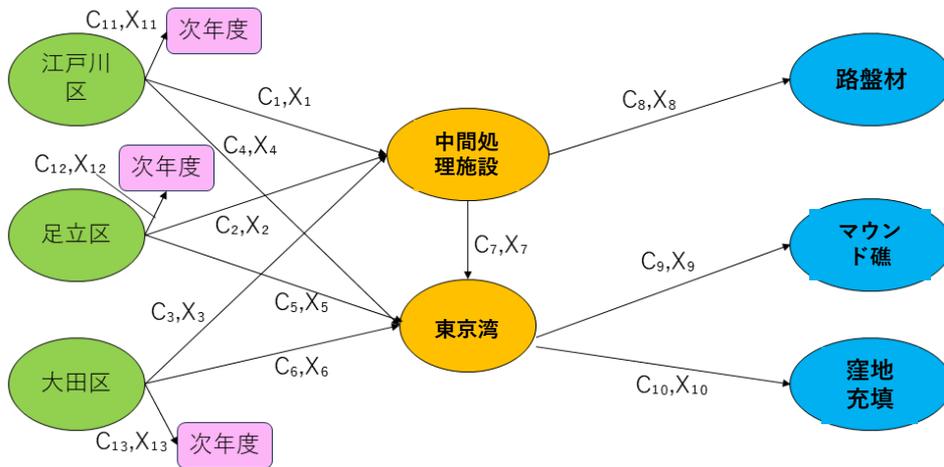


図 各シナリオのLCC計算結果

各利用先のLCCは、路盤材利用と比較して、マウンド礁では約16% 低減し、窪地充填では約11% 増大となった。

1-2 線形計画法を用いた各利用先への分配

- 対象：東京都の23区の内、非木造建物の解体で生じるコンクリート塊の発生量が最も多いと想定されている足立区、江戸川区、大田区の3区
- 目的関数： 輸送を含む、処理費用(LCC)の最小化



C_i : 1tの廃棄物の輸送・処理により排出される輸送単価 (円)
 X_i : 輸送される廃棄物の量 (t)

図 線形計画モデル

表 線形計画モデルの設定条件

| | | |
|------|--|-------------|
| 目的関数 | $\min \sum_{i=1}^{10} C_i X_i$ | |
| 制約条件 | $X_1 + X_2 + X_3 = X_7 + X_8, X_4 + X_5 + X_6 = X_9$ $X_7 = X_{10}$ | 施設の需給一致 |
| | $X_1 + X_2 + X_3 \leq 10,140,000$ $X_4 + X_5 + X_6 + X_7 \leq 11,400,000, X_8 \leq 998,588$ $X_9 \leq 6,245,880, X_9 + X_{10} \leq 12,491,760$ | 受入上限 |
| | $X_1 + X_4 + X_{11} = 2,360,000, X_2 + X_5 + X_{12} = 2,380,000$ $X_3 + X_6 + X_{13} = 3,080,000$ | 発生量一致 |
| | $X_4 \leq 1,652,000, X_5 \leq 1,666,000, X_6 \leq 2,156,000$ | 大割のまま切り出せる量 |
| 非負条件 | $X_1 \sim X_{13} \geq 0$ | |

1-2 結果・考察

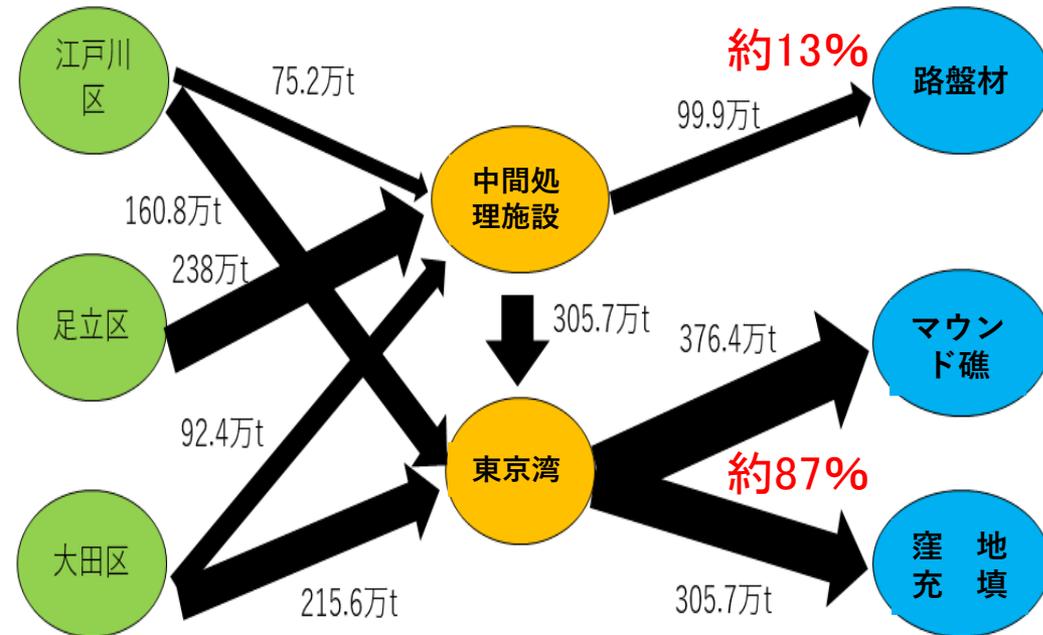


図 最適なLCCの分配利用

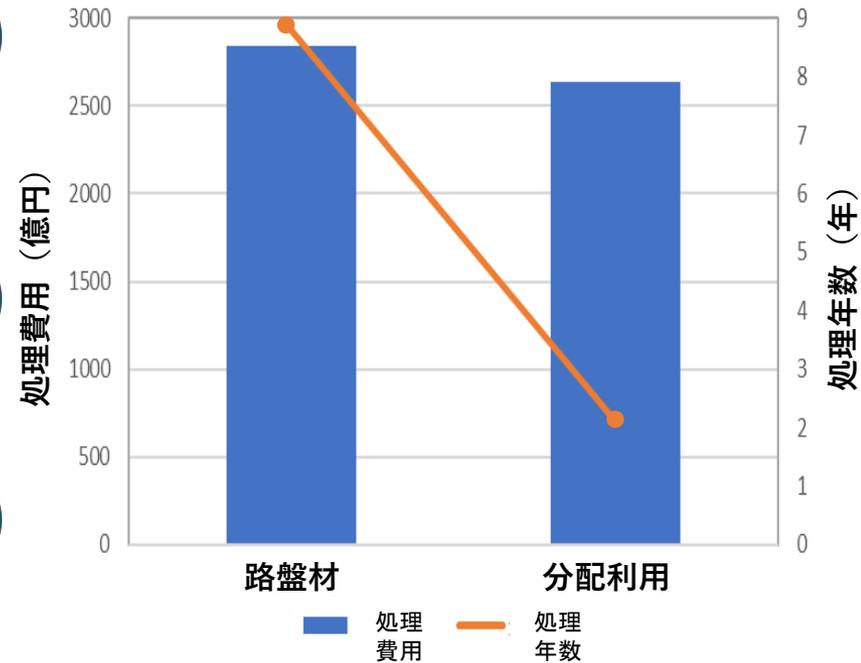


図 処理費用及び処理年数

1-3 まとめ

- 海洋利用のLCCO₂は、船舶輸送の影響が大きく、従来型の再利用法と比較して1.3倍(窪地充填)～1.7倍(マウンド礁) **大きい結果**となった。
- 従来型の路盤材への再利用法と海洋利用法を組み合わせること(最適分配利用)で、災害によって発生したコンクリート塊の**処理費用(LCC)**、**処理期間ともに低減**することができる。



- 処理費用、処理期間の観点からは、海洋利用は有効な再利用先である。**環境への負荷(LCCO₂)の観点からは、有効な利用先とは言えない。**
- 路盤材利用においてコンクリートを保管しておく機会費用を考慮していないため、実際より再利用することによる費用面のメリットは小さい可能性がある。

目的 2

2-1 マウンド礁利用におけるブルーカーボン効果の考慮

- 足立区で発生するコンがらを用いて、マウンド礁を1基造成する場合のCO₂排出量を推計
- マウンド礁造成に伴うCO₂固定効果(ブルーカーボン効果)を考慮したLCCO₂を評価

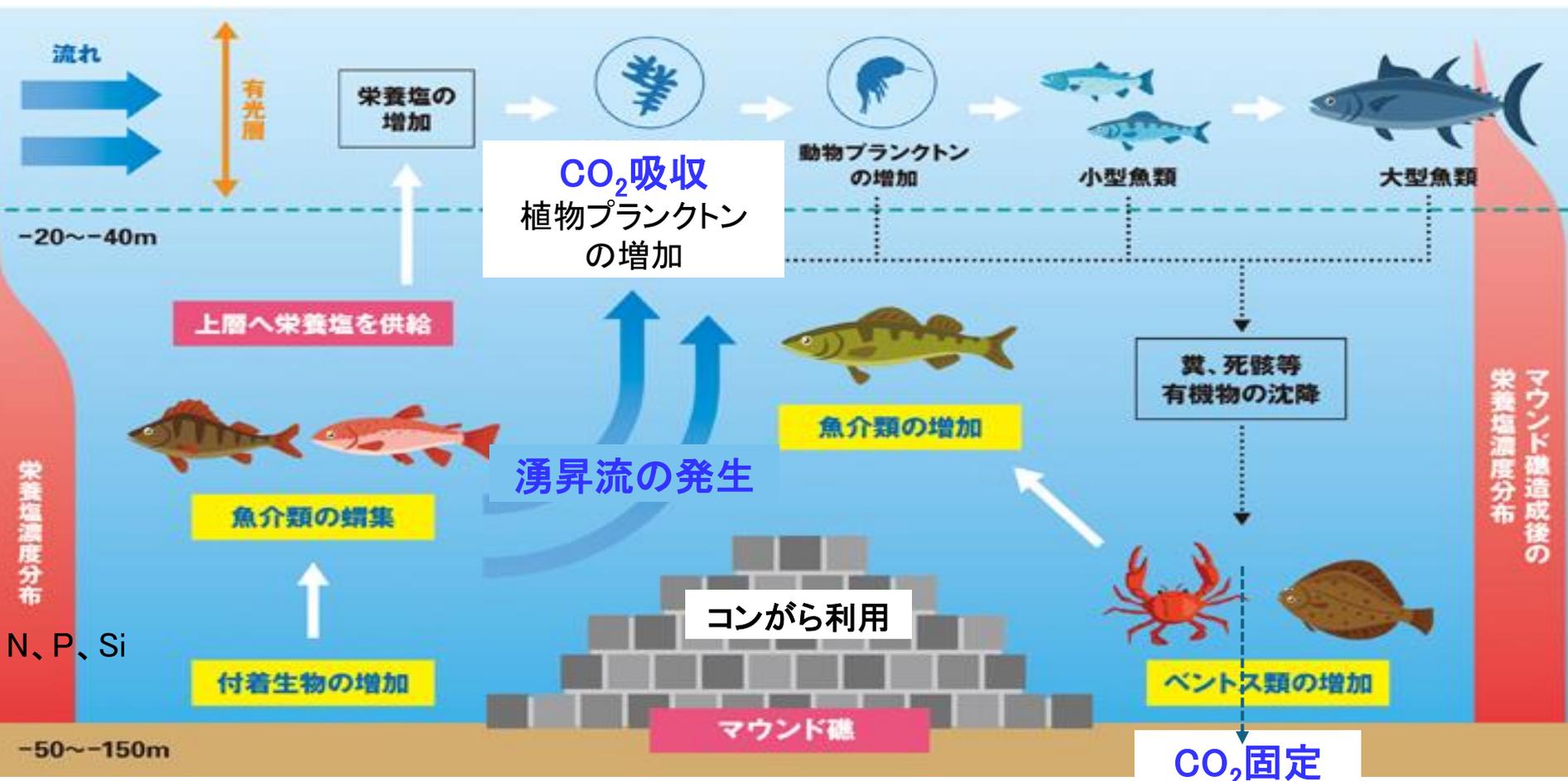
⇒CO₂排出量と固定量を比較

2-2 コンがらを新材の代替として利活用する有効性

- コンがらの路盤材利用のCO₂排出量を推計
- 新材を用いた路盤工及びマウンド礁造成のCO₂排出量を推計

⇒新材の代替としてコンがらを用いることによる代替効果(回避効果)を把握

マウンド礁(人工海底山脈)について



出所: マウンド礁造成の効果、水産庁 に追記

ブルーカーボンとは、大気中のCO₂が海洋生態系によって取り込まれ、長期間、海洋に貯留される炭素である。

2-1 マウンド礁利用におけるブルーカーボン効果の考慮

1. 造成するマウンド礁の設定

造成場所

- 有川らの研究²⁾より、三浦半島沖約10km (東京港から約65km) の位置

造成規模

- 既往調査¹⁾で設定されているモデルサイトと同等規模のマウンド礁を造成

| | |
|--------------------------|-----------------------|
| 造成体積 | 41,900 m ³ |
| コンからの大きさ | 1 m ³ |
| 1m ³ ブロックの投入数 | 20,950 個 |
| 合計重量 | 48,185 t |



出所: 標準地図(国土地理院)に追記作成

1) 社団法人水産土木建設技術センター: 湧昇マウンド礁のCO₂固定効果等把握調査

2) 有川太郎、西川智: 経年コンクリート構造物の海域利用による資源化と巨大地震時における都市のレジリエンス向上(概要)

2. 処理フローの設定

- 災害により発生したコンがらを大割のままマウンド礁の資材として利用
- 被災建物の解体から海洋投入までの処理フローを設定

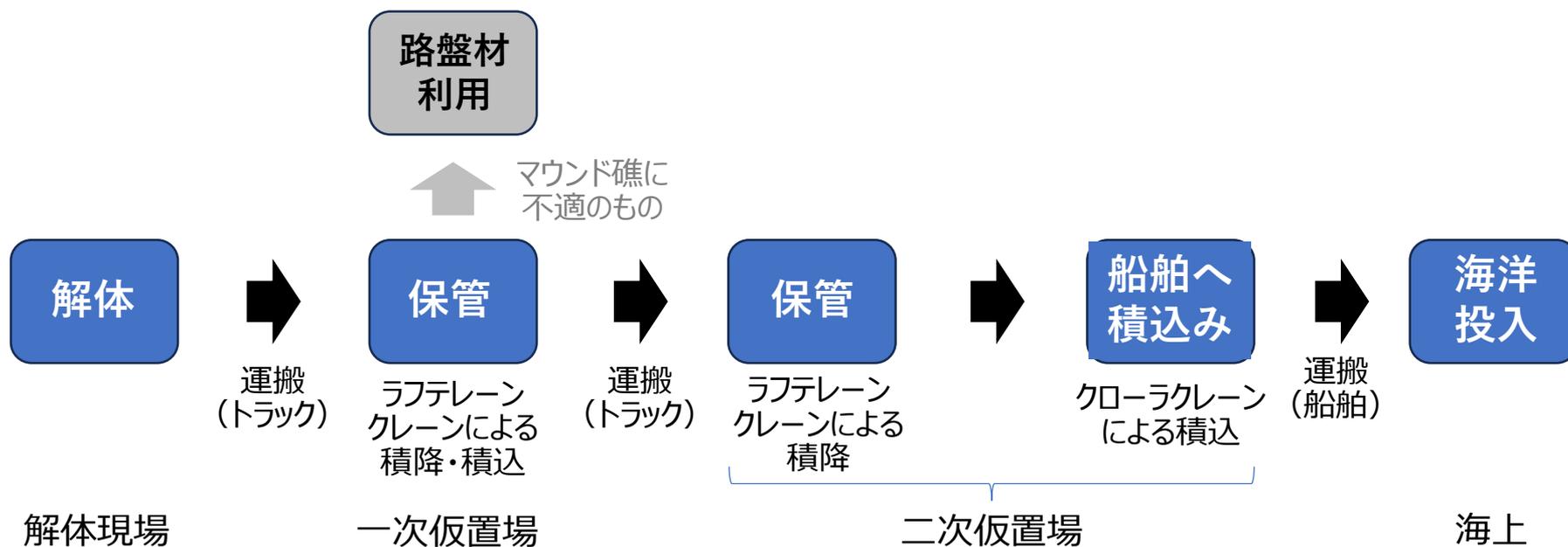
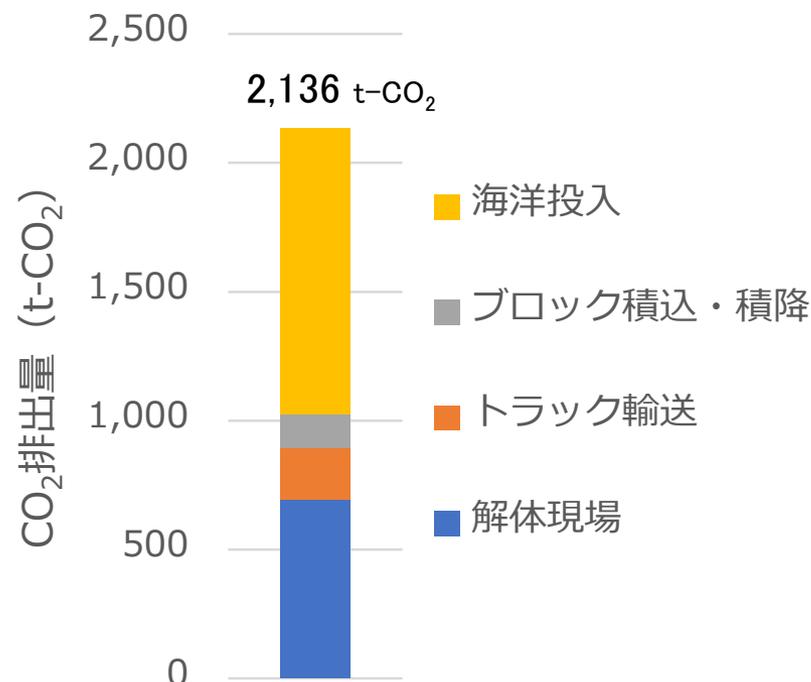


図 処理フローの各工程

3. CO₂排出量の推計

- 処理フローの各工程の推計式及び原単位を設定し、CO₂排出量を推計
- CO₂排出量の合計は2,136 t-CO₂

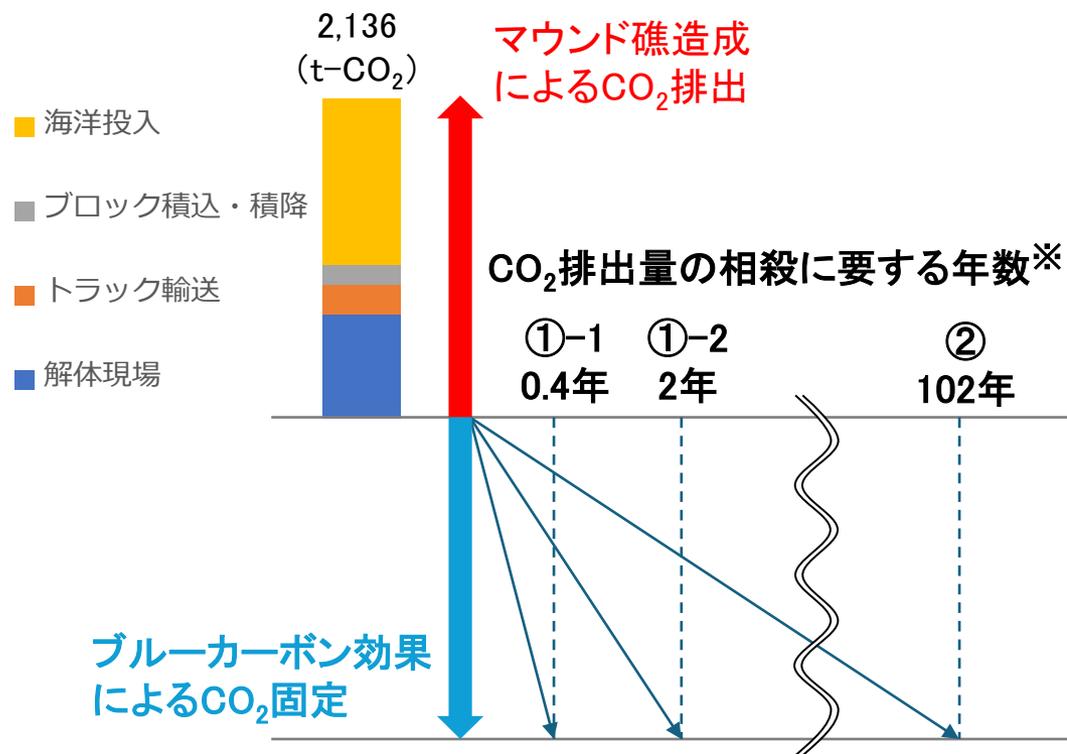
| 工 程 | CO ₂ 排出量 (t-CO ₂) | 割 合 (%) |
|-----------|---|------------|
| 解体現場 | 692 | 32 |
| トラック輸送 | 202 | 9 |
| ブロック積込・積降 | 130 | 6 |
| 海洋投入 | 1,112 | 52 |
| 合計 | 2,136 | 100 |



図表 各工程からのCO₂排出量

4. マウンド礁造成に伴うCO₂固定効果と排出量の比較

- CO₂固定効果は、文献値により 21、あるいは1,000～5,000 t-CO₂/年
- CO₂排出量は0.4～102年で相殺され、カーボンニュートラルが達成される。
- マウンド礁は、ブルーインフラストラクチャーとみなせる。



下記文献①、②より、マウンド礁の1年間あたりのCO₂固定量を設定

①-1: 5,000 (t-CO₂/年)

①-2: 1,000 (t-CO₂/年)

② : 21 (t-CO₂/年)

文献 ① 「湧昇マウンド礁のCO₂固定効果等把握調査」
 (平成19年度～平成21年度 社団法人水産土木建設技術センターほか)

文献 ② 間木道政(2007):人工湧昇流海域における二酸化炭素吸収量の評価技術の開発、海洋開発論文集、第23巻、p.20

2-2 新材の代替としてコンがらを利用する有効性

1. LCCO₂の評価ケース

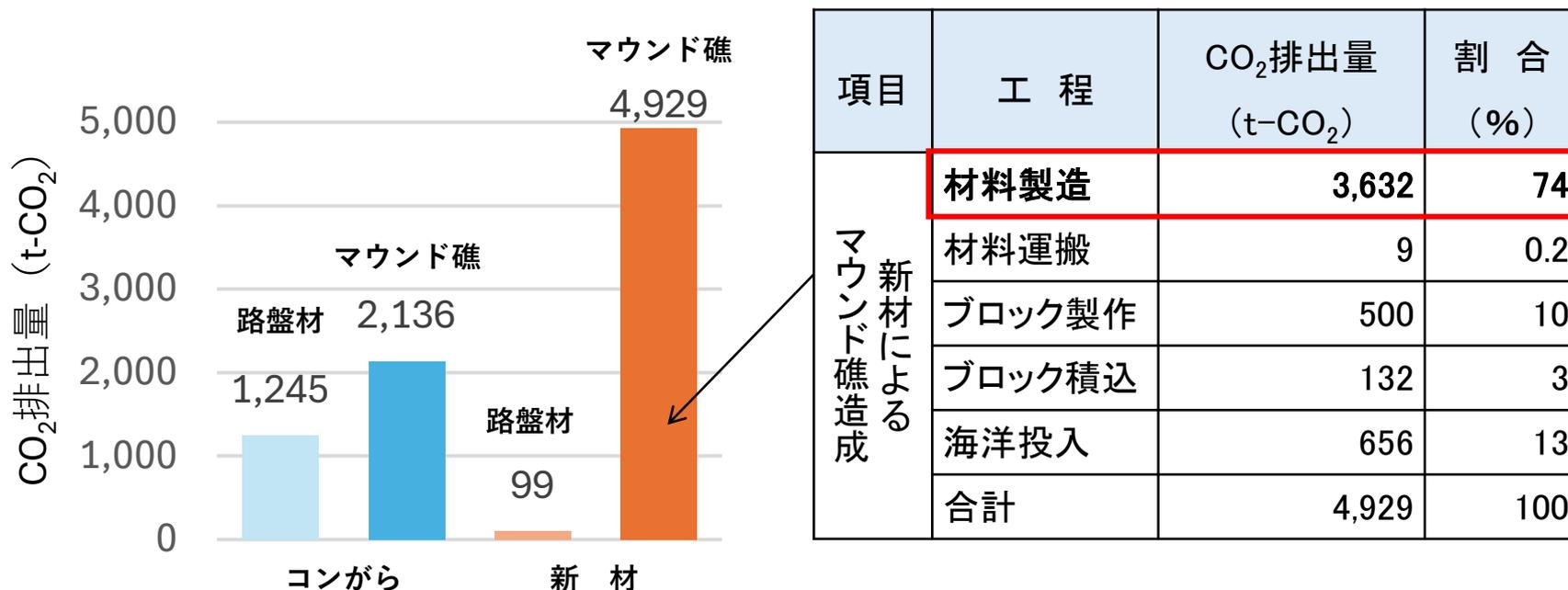
- コンがらの陸上での路盤材への利用シナリオとマウンド礁への利用シナリオの比較評価を行った。
- なお、ブルーカーボン効果は考慮していない。

LCCO₂の評価ケース

| | 路盤材 | マウンド礁 |
|------------|-------|-------|
| コンがら 利用 | ケース 1 | ケース 2 |
| 新材 利用 | ケース 3 | ケース 4 |

2. 検討結果(その1)

- 2-1での検討と同様に、処理フローを設定しCO₂排出量を推計した。
- CO₂排出量は、新材によるマウンド礁造成が4,929 t-CO₂と最も多い。
- 特に、材料製造(セメント)のCO₂排出量が全体の74%を占めている。



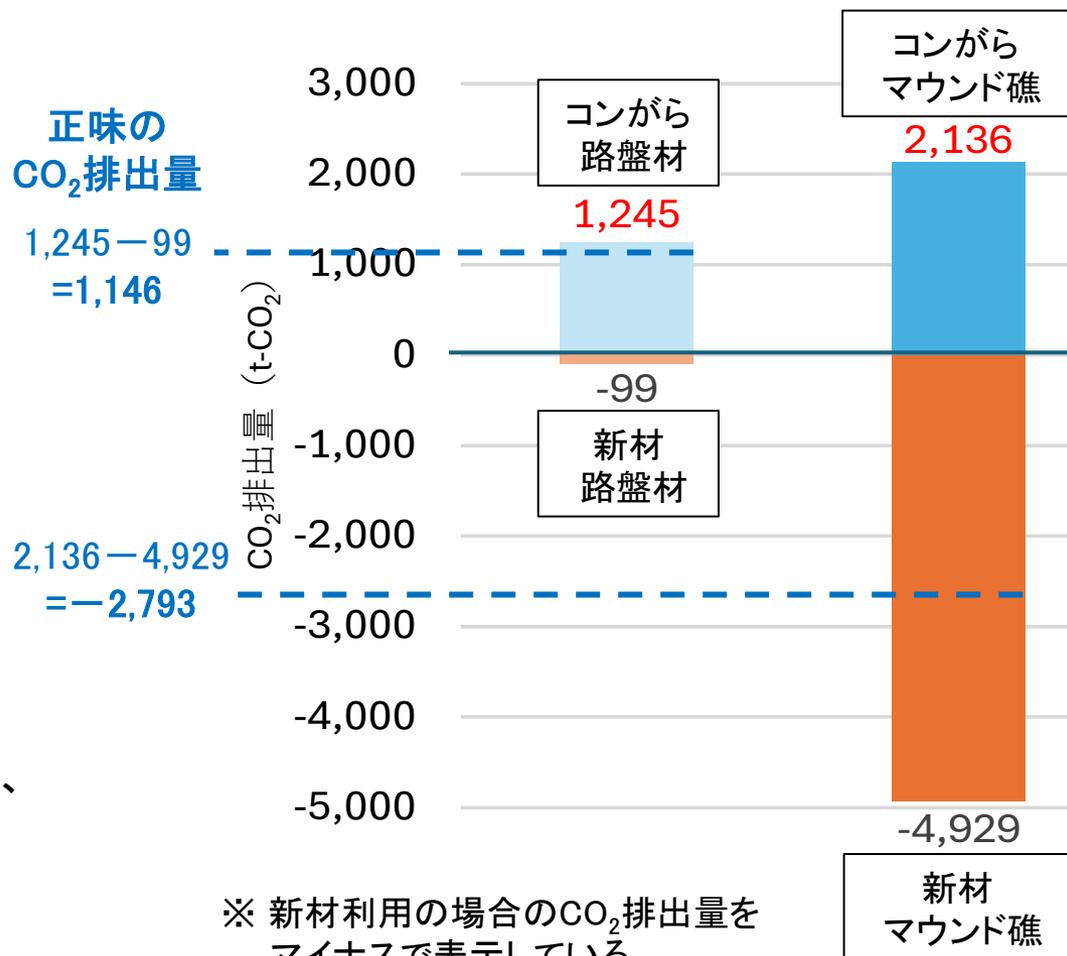
3. 検討結果(その2)

● コンガラ利用の比較

- CO₂排出量は、
マウンド礁 > 路盤材

● 新材からコンガラへの代替効果

- 路盤材では、コンガラ利用によりCO₂排出量が増加
- マウンド礁では、コンガラを利用することにより、新材による材料製造に伴うCO₂排出を大幅に回避することができ、大きなメリットが生まれる。



2-3 まとめ

- 首都直下地震で発生するコンガラについて、従来の路盤材利用と新たな海洋でのマウンド礁利用の二つのシナリオのLCCO₂評価を行った。
- マウンド礁への利用は、従来の路盤材利用シナリオよりも新出口シナリオのCO₂排出量が大きくなるが、**ブルーカーボン効果**を考慮すれば一定期間にカーボンニュートラルを達成できる可能性がある。
- マウンド礁造成において、コンガラを新材へ代替することにより、LCCO₂では大きく削減され、**コンガラ利用に大きなメリット**がある。
- ◆ ただし、マウンド礁造成の実績は西日本に限られており、また近年、新たな造成が見られず、首都直下地震において、新材利用の代替には留意が必要である。
- ◆ マウンド礁利用において、CO₂固定量の文献値の差が大きいこと、マウンド礁造成の要件を満たすコンガラの切り出し方法等の詳細については、今後、議論が必要である。