

三島地域の魅力創出 ～安威川ダム周辺のPRについて～

木佐一 竣¹

¹大阪府茨木土木事務所 地域支援・企画課

本稿では「三島地域の魅力創出」を掲げ、魅力創出のため実際に行った取り組みについて述べるものである。そして、三島地域の中でも地域をアピールできるコンテンツを安威川ダムと捉え、ダム周辺地域のPRに関して深掘した。ダム周辺地域では、農業の担い手不足、若い世代の流出などが課題になっていることから、ダム事業をきっかけに周辺地域を賑わいづくりの拠点として魅力創出を行うことで課題解決を図っている。そのうえで、他ダムであまり実施されていないような内容に重きを置き、年度を跨いで実現・発展させてきた取り組みの成果について論述した。

キーワード 地域活性化, 魅力創出, PR, 広報, SNS

1. はじめに

安威川ダムは、昭和42年7月の北摂豪雨災害を契機に、大阪府北摂地域最大の河川である淀川水系一級河川安威川における治水対策として、茨木市北部（図-1）に建設した中央コア型ロックフィルダムである。さらに、ダムとしては稀な都市部に近い立地にあり、地元茨木市の市街地から車で20分程度、直近の千堤寺IC（新名神高速道路）から車で5分程度と、アクセス性に優れている。



図-1 安威川ダム位置図

茨木市では、ダムがある市域北部の山間部で人口減少や高齢化に伴う山林の荒廃などの課題を抱えており、その解決に資するべく、ダム周辺で整備する公園を、山とまちをつなぐハブ拠点とし、交流人口を増やして地域活性化につながるよう、尽力されている。大阪府としても、過去から水源地域整備対策として関わっており、平成2

1年には「安威川ダム周辺整備基本方針」を府市で策定し、ダム周辺を官民連携事業によって整備することで、賑わいづくりにつなげる方針を示している。その後、茨木市において事業化のための制度設計を行い、市の都市公園として茨木市主導で進められ、令和2年には公募型プロポーザルにより、「日本一の長さを誇る歩行者専用吊橋」等を含む提案がなされたパートナー事業者を決定された。また、令和4年には公募によって、公園名称が「ダムパークいばきた」と命名され、令和6年4月には、公園と駐車場の一部が、令和7年3月には人道橋として日本一の長さを誇る吊り橋がオープンした。このほかにも、多目的運動広場や水上アクティビティエリア、BBQエリアなど、段階的に整備が進められる計画が立てられている。公園整備状況を図-2に示す。

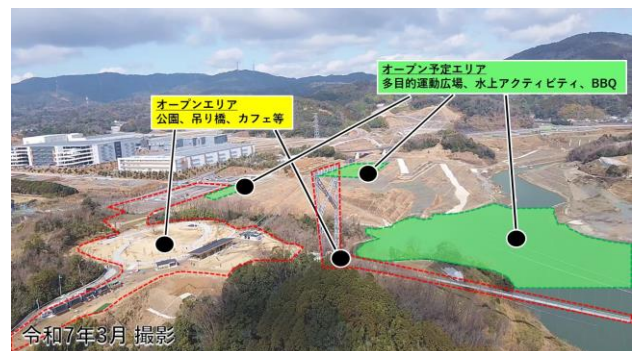


図-2 ダムパークいばきた周辺の公園整備状況

そして、これらの周辺整備計画とアクセス・展望の良さから、安威川ダムでは将来かなり賑わうことが想定された。大阪府でもこのことを多くの人に知ってもらうチャンスと捉え、事業最終年度の令和5年から若手職員有志

でプロジェクトチームを立ち上げ、1年をかけて広報PRの取り組みを積極的に行った。令和6年度からはダムの所轄が変わったものの、安威川ダム建設事業の業務を引き継いだ茨木土木事務所安威川ダムグループを中心に、ダムの効果やダムを知ってもらい取り組みを実現・発展させてきた。本研究では、2年間の広報PR業務の取り組み、また今後の展望について報告するものである。

2. 取り組みの内容

(1) 令和5年度の取り組みについて

安威川ダム建設事業最終年度である令和5年度より、若手職員有志12名で取り組みが始動した。事業を完了させるための最終年度に、通常業務だけでも非常に多くの業務に対応する必要があった中で、業務の合間に取り組むことは難しく、事業費の用途にも制約があった。そういった状況の中で、令和5年度の取り組みでは他ダムの広報のようにホームページやダムカードでの広報活動にとどまらせるのではなく、他のダムではあまり利用されていない仕組みを検討・採用した。主な取り組みとしては、以下(a)～(e)が挙げられる。

a) 安威川ダム漫画の公開

令和4年度に一般社団法人大阪建設業協会の協力のもと作成した「安威川ダム建設」に関する漫画(図-3)を一部公開した。読みやすい漫画を通じて、ダム事業に関心を持ってもらうことを目的とし、Instagram上のプロフィールにも掲載している。(図-4)



図-3 ダム漫画



図-4 安威川ダムInstagram

b) ハートの石の設置

安威川ダムは都市近郊型であることから、新たに創出された水辺の空間は観光スポットとして若者に人気が出る期待がされていた。そのため、2ショットの撮影ポイント、SNSでの投稿・拡散などに期待し、安威川ダム周辺では図-5のとおり、下記の4カ所に安威川の「安威=愛」という意味を掛けて、ハート形の石を散りばめた。



図-5 「ハートの石」設置箇所

1カ所目は安威川ダムの直下広場に設置されている噴水である。直下広場には、図-6のとおり「せせらぎ水路」と呼ばれるダム湖から流れてくる水と触れ合えるスペースやダムの放流口を見ることができる管理橋などが整備されており、人々の往来が多い箇所である。

2カ所目は安威川ダム管理所の外構である。管理所付近では、石を散りばめたような外構がいくつも施工されており、デザイン美のある仕上がりになっている。さらに、図-7のとおり外構はダム来訪者用の駐車場と管理所及び天端道路の間に位置しており、特に来訪者の目に留まりやすい。

3カ所目はダムパークいばきた「湖畔ゾーン」である。現在日本一の吊り橋がかかるなど、話題沸騰中の公園であるが、その公園内には図-8のようにガビオンの長椅子が複数配置されており、その一部にハートの石が組み込まれている。

4カ所目は、貯水池内である。石を寄せ集めて模ったハートの巨石はある仕掛けをしている。図-5の左下写真のように、普段(常時満水位EL99.4m)は貯水池に沈んでしまっているが、水位が低い状態(EL98.0m以下)になると巨石が現れるというものである。この巨石はちょうどダムパークいばきたに架かっている吊り橋の上から目に見ることができ、多くの人の目に留まることが予想される。

このように、ただ適当に散りばめるのではなく、なるべく人の目に届きやすく、且つ予想だにしていなかった場所に仕掛けするという工夫を施すことで、来訪した人の満足度を引き上げる一因となっている。



図 - 6 安威川ダム直下広場「風の丘ゾーン」



図 - 9 ダムカード発券機

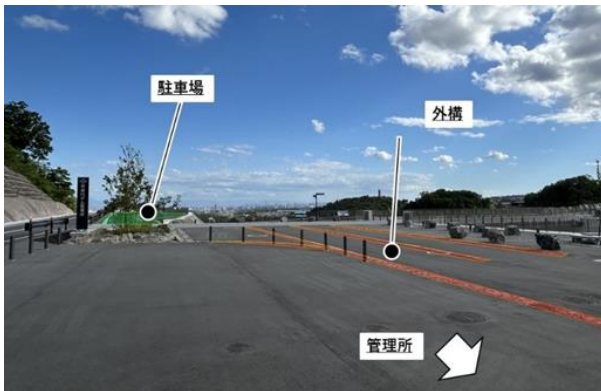


図 - 7 安威川ダム管理所周辺



図 - 8 ダムパークいわきた「湖畔ゾーン」

c) ダムカード発券機

国土交通省と独立行政法人水資源機構の管理するダムでは、ダムのことをより知ってもらうために、平成19年よりダムカードを作製し、来訪者に対して配布を行っている。ダムカードは通常、管理所での手渡しによる配布が一般的である。しかし安威川ダムでは、管理所は普段無人であること、見晴らしがよく夜景が綺麗に見え、夜間でも来訪者が多いことが想定されたため、無人発券機を設置した。(図-9) これにより、24時間ダムカードを受け取ることができるようになっている。

d) レゴでダム模型を作成

大阪大学レゴ部と連携し、1000分の1スケールのダム模型を作成。堤体断面や常用洪水吐きトンネルを忠実に再現するなど、非常に精巧な作りになっている。

子どもたちにおもちゃを通じてダムと関わり、延いては土木事業に関心を持ってもらうことを期待し、取り組み始めた。作製に約1年かかったことから、令和5年度中の設置とはならなかったが、翌年度も引き続き調整を行い、ダムパークいわきたのパークセンター内に展示されることになった。(図-10) ダムパークに訪れた子どもたちの目を引き付けるには十分で、効果は絶大である。



図 - 10 安威川ダムレゴ

e) SNSやGoogle Street Viewを活用したダムの学習

来訪者に対してよりダムを知ってもらうために、Instagram、YouTube、GoogleSVを使った学習の仕組みを作り上げた。

安威川ダムでは、図-11のような周遊マップを作成しており、監査廊や曝気装置、放流設備など、各施設18か所の付近に紹介プレートを設けた。(図-11右下) このプレートには「Instagram」と「YouTube」それぞれの二次元コードが記されており、これを読み込むことで、各学習コンテンツへリンクするようになっている。

る。



図 - 11 安威川ダム周遊マップ及び紹介プレート

Instagramでは、それぞれの施設ごとに学習投稿を蓄積しており、5~6枚の説明入りの写真から施設の目的や特徴、施工の様子を見て学ぶことができるようになっている。また、学習投稿の様式も統一しており、プロフィール上の投稿数が増えていっても、学習投稿だと一目でわかるような工夫を施している。(図-12)



図 - 12 Instagramでの学習投稿

YouTubeでは、10のダム施設を紹介・解説する音声ガイドを投稿している。(図-13)うち5の施設については、映像付きとなっている。Instagramの学習投稿同様、内容は施設の目的や特徴、施工の様子の紹介だが、音声聴き、動画を観ることでより効果を高めている。また、昨今のグローバル化に対応すべく、英語版の音声・映像データも制作しており、日本語がわからない来訪者に対しても学んでもらえるような仕組みを取り入れている。



図 - 13 YouTubeでの音声ガイド・紹介映像

GoogleSVでは、疑似見学ツアーのようなコンテンツを作成した。これにより、普段立ち入ることのできない監査廊・下流連絡通路の一部をGoogleMap上で見られるほか、実際にダムを訪れた人も監査廊入口に設置している二次元コードを読み取ることで、監査廊内を疑似的に見学することができる。監査廊の一部をホームページ上で公開したり中の様子をSNSに投稿しているダムは散見されるが、疑似見学ツアーのような仕組みを作った事例としては日本初と思われる。(図-14)



図 - 14 GoogleSVを利用した疑似見学ツアー

(2) 令和6年度の取り組みについて

安威川ダムの所轄が茨木土木事務所に移った令和6年度は、前年度の取り組みを踏襲しながらダムだけでなく、茨木土木事務所管内である「三島地域全体の魅力創出」を掲げ、事務所の若手13名で新しい取り組みをスタートした。三島地域全体での魅力創出をすることはハードルが高かったこともあり、まずは安威川ダムを三島地域のカラーコンテンツと捉え、広報の取り組みを検討した。

まずは、「どのような取り組みをすれば、府民へ三島地域の魅力が伝わり来訪してもらえるか」という問題提起に対して、3つの案を考案した。

1つ目は、ホームページの改善である。改善前の安威川ダムホームページは検索しても、図-15の左図のよ

うに文字情報が多く、安威川ダムがどのようなところなのか、必要な情報がどこにあるのか分かりにくい状態であり、魅力が伝わりにくい一因となっていた。そこでホームページ最上部に、ドローンで空撮し編集した映像を掲載することで、安威川ダムの魅力が一目でわかりやすいものになるようにした。さらに、Instagramやフラッシュ放流など、問い合わせの多い案件のページはアイコン・写真を装飾し、リンクの紐付けをすることで、目的のページまで飛びやすくする等工夫を行った。



図 - 15 ホームページ改善前後の比較

2つ目はデジタル周遊マップの作成である。上述してきたように、安威川ダムには周遊マップが存在し、ダムのPRに役買っている。令和6年度では、それをさらに発展させるために、周遊エリアの拡大・デジタル化を検討した。この取り組みの当初は、三島地域全体のマップの作成を見据えていたことから、情報をアップデートしやすく、地域全体に行き渡らせやすいデジタルマップを採用し、試作が始まった。

試作では、GoogleMapを用いて作成をしており、ダムだけでなく周辺施設も組み込んだものになっている。例えば、図-16のように「ダムパークいばきた」であれば、駐車可能台数・右折侵入不可など細かいが、あれば嬉しい情報や、施設のホームページ・SNSへのリンクなど様々な情報を組み込んでいる。

現段階では一部しか完成にいたってないが、今後はグルメ、アクティビティ、インフラ施設など多岐にわたる情報を集約したマップにしていきたいと考えている。



図 - 16 GoogleMapを用いた周遊マップ (抜粋)

3つ目はSNS戦略である。安威川ダムでは紹介してきたとおり、令和5年度の取り組みからInstagramおよびYouTubeを活用している。安威川ダムでは投稿のしやすさから、主にInstagramでイベント情報や現場の様子を発信していた。しかし、コミュニケーションがとりやすく、拡散力があるのがSNSの強みであるが、当時は発信だけという一方方向での運用にとどまっていた。

そのため、より拡散力を上げて府民の安威川ダムに対する投稿やコメントによるコミュニケーションを促そうと、「ハッシュタグ投稿」の取り組みを始めた。内容としては安威川ダムを訪れた人の投稿に、共通のハッシュタグをつけてもらうことでトレンド入りを図り、ダムを知らない・興味のない人の目にも届かせるというものである。

この取り組みをはじめると図-17のように、数多くの共通ハッシュタグをつけた投稿がなされるようになった。そのような拡散も相まって、安威川ダムのフォロワー数は令和6年度中に令和5年度末時点比で1.5倍まで増加した。



図 - 17 Instagram上でのハッシュタグ投稿

3. 現状と今後の課題

こういった取り組みの積み重ねの結果、安威川ダムでは、管理所の来場者数だけで茨木市が開放した令和6年7月末以降、令和7年6月末までで、17429人と多くの人が訪れている。また、Instagramのフォロワー数も開設から1年半で1800人を突破した。これは、ダム単体のアカウントとしては黒部ダムに次いで、現在2番目である。

さらにメディアでも取り上げられることも多々あり、現在も着々と認知度が広まっており、来訪者やフォロワー数は日々増加している。

しかし、広報PRや魅力創出の取り組みは正解がなく、アイデア出しから実現まで非常に難易度の高いものである。さらに、今回紹介した取り組みはいずれも通常業務の傍ら行ったものであることから、金銭面で妥協・断念したり、年度内で完結させようと出来が中途半端になってしまうことが多かった。

また、安威川ダム主体の広報に偏ってしまっていることから、今後は地域全体のPRや活性化につながるような取り組みを行っていかねばならない。

行政広報の仕事は、府民の「施策に対する理解促進」、「防災意識の向上」、「職員確保のための次世代へのアピール」等から不可欠であり、重要視するべきだという声は上がってきているものの、実態はまだ軽視されがちな取り組みである。今後は、若手だけでなく組織一丸となって邁進していきたい。

謝辞：本取り組みにあたり、ご協力いただきました茨木市の皆様、また実際に施工・作製いただきました事業者・大学生の皆様に深く感謝申し上げます。

大手前合同庁舎のZEB化における 空調省エネ技術の評価について

小村 祐也¹・本多 順子²

¹近畿地方整備局 営繕部 保全指導・監督室 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前3-1-41)

²株式会社大林組 設計本部 設備設計部 (〒541-8630大阪府大阪市中央区北浜3-5-29)

国土交通省の官庁営繕事業では、2050年カーボンニュートラルに向けて、2022年度以後予定する新築事業を原則 ZEB Oriented 相当以上（建築物のエネルギー消費性能の向上等に関する法律（以下、「建築物省エネ法」という）における一次エネルギー消費量の削減40%以上）とすることを目標としている。大手前合同庁舎（以下、「本庁舎」という）は、国土交通省として初めて設計段階でZEB Orientedを達成した庁舎であり、2022年9月竣工後の運用段階においても達成したことが確認されている。本研究では、本庁舎の設計段階において導入した空調省エネ技術と、運用段階における導入空調省エネ技術の効果検証について報告する。

キーワード カーボンニュートラル、省エネ、ZEB

1. はじめに

大阪城公園の西側に位置する大手前地区は、国のブロック機関が入居する合同庁舎等が複数存在し、官庁街を形成している。今回、災害応急対策活動を行う地方ブロック機関を核とする合同庁舎を整備し、将来想定される大規模災害の発生を備えた防災機能の強化、地域と連携した庁舎整備により新たなまちづくり空間やにぎわいの創出等、地域の活性化に積極的に貢献するとともに、効率的な維持管理を図ることを目的に、本庁舎の整備が行われた。

設計当初は、省エネ技術を積極的に取り入れる事務庁舎として検討を開始したが、2019年2月にZEBの定義にZEB Orientedが追加され、設計段階から達成できていることが確認された。結果、国土交通省として初めて設計・竣工段階でZEB Orientedを達成した庁舎となった。

今後の設計にあたり、採用された省エネ技術が、運用段階において適切に性能が発揮されているか分析することが重要であると考ええる。

本論文では、本庁舎の運用段階における一次エネルギー消費量の分析と、特にエネルギー消費量の割合が高い空調設備において導入した省エネ技術と、その運用段階の効果検証を報告する。

2. 施設概要

建物概要（写真-1参照）

所在：大阪府大阪市中央区大手前3-1-41

敷地面積：6,453.54m²

構造規模：鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造）

地上14階、地下1階、塔屋3階

延床面積 48,901.90m²

用途：庁舎

竣工：2022年9月



写真-1 大手前合同庁舎全景

空調設備概要

熱源方式：モジュールチラー（冷凍・加熱能力
720kW×2台）
直だし吸収冷温水機（冷凍・加熱能力
352kW×3台）
空調方式：単ダクト方式（各階室内負荷処理空調
機＋外気処理空調機）

主熱源は、モジュールチラーと直だし吸収冷温水機の2種類を採用しており、モジュールチラーをベース運転とし、直だし吸収冷温水機で熱負荷の追従を図るシステムで計画した。



写真-2 塔屋1階設備機器置場

3. 一次エネルギー消費量

建築物省エネ法では、平成24年の標準設計を基準として、一次エネルギー消費量の削減割合で評価している。図-1に年間一次エネルギー消費量の基準値、設計値、2023年実測値、2024年実測値の比較を示す。設計値、基準値はエネルギー消費性能計算プログラム(標準入力法)にて算出した値である。一次エネルギー消費量の削減について、設計値では基準値より47%削減だったのに対し、2023年実測値では基準値より71%削減、2024年実測値では基準値より70%の削減だった。これは、照明設備、昇降機設備が設計値と同等のエネルギー使用量であることと比べ、省エネ技術の定量的な評価が難しく、外部環境の影響を受けやすい空調設備、換気設備において実測値が大きく削減されたことが要因となっている。

図-2に空調設備及び換気設備の月別一次エネルギー消費量と外気温度の推移を示す。年間一次エネルギー消費量において、2023年実測値に比べ、2024年実測値がわずかに高くなっていたのは、2023年に比べ、2024年において、7月は0.8℃、8,9月は0.7℃、10月は2.4℃と、冷房時期に外気温度が高かったことによる熱負荷の増加によるものである。

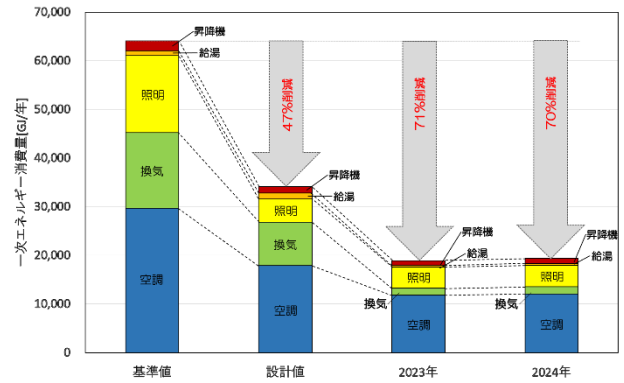


図-1 年間一次エネルギー消費量

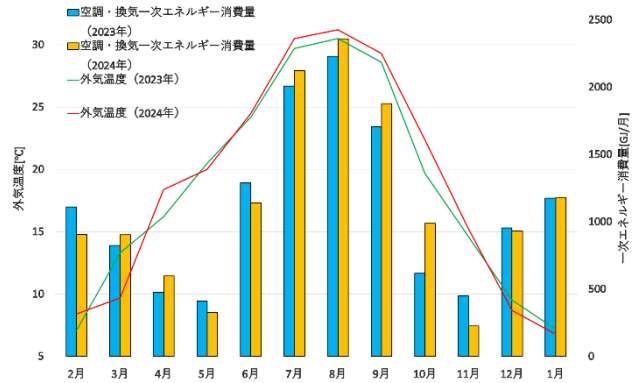


図-2 月別一次エネルギー消費量及び外気温度

図-3に空調設備の年間一次エネルギー消費量の設計値、2023年実測値、2024年実測値の比較を示す。設計値に比べて2023年実測値は34%、2024年実測値は33%の一次エネルギー消費量の削減効果があった。熱源（ガス）で設計値より若干の上昇がみられるが、熱源（電気）の削減が大きく、熱源全体としては減少傾向にある。空調ファンの削減は設計値と比較しても大きく、空調システムが効率よく運転していたことに加え、エネルギー消費性能計算プログラムで評価できない、Coil to Coil再熱方式・外調機のCO2制御等の省エネ効果によるものと推測される。

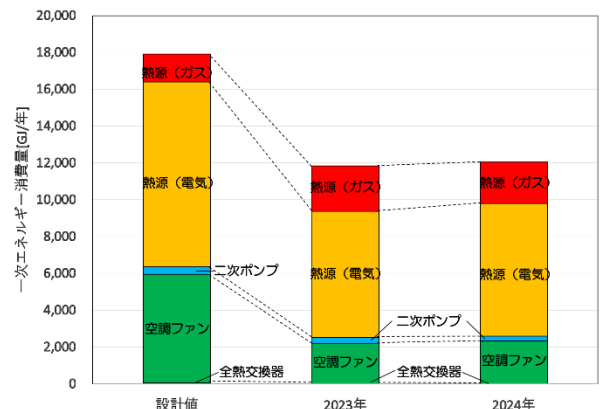


図-3 空調設備の年間一次エネルギー消費量

4. 空調システムCOP

本庁舎の熱源方式は、前述の通りモジュールチラーをベース運転としている。

図4.5に外気温度に対するモジュールチラーの冷房運転時及び暖房運転時のCOP（1時間当たりのエネルギー消費効率）を示す。実線は近似線を示す。

冷房運転時では外気温度が低い方が、暖房運転時では外気温度が高い方がCOPが高い傾向が読み取れる。

機器の定格COPは、冷房運転時は4.89、暖房運転時は2.75であったので、平均値では設計値よりも高いCOPで運転していたことが読み取れる。

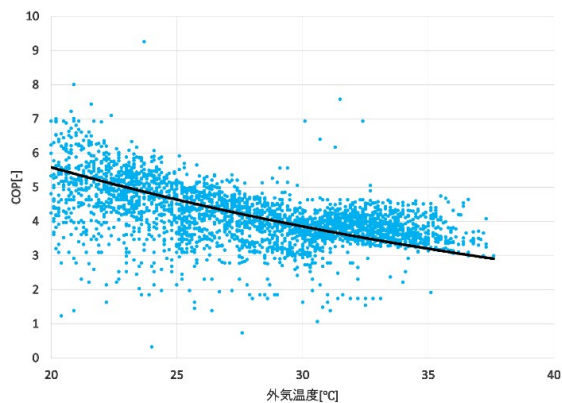


図4 モジュールチラー冷房時COP

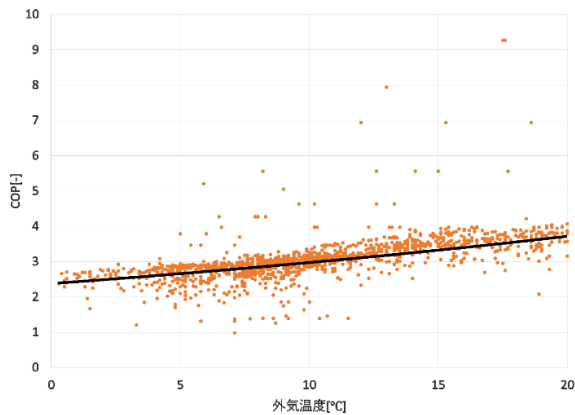


図5 モジュールチラー暖房時COP

本庁舎の空調方式は、単一ダクト方式を採用している。室内負荷処理空調機はVAV（可変風量）方式を採用し、空調負荷に応じて送風量を削減している。外気処理空調機は全熱交換器を採用し、取入れ外気と排出する室内空気の熱交換により空調負荷を軽減するとともに、外気の顕熱回収によるCoil to Coil再熱方式を採用することで除湿後の再熱に温熱源を不要とするなど省エネ化を図っている。また、室内のCO2濃度により外気量をコントロールし、外気負荷と送風量を低減している。

図6,7に外気温度に対する冷房運転時及び暖房運転時の空調システム全体のCOPを示す。実線は近似線を示す。

エネルギー消費性能計算プログラムでの空調システムCOPは1.6であったので、設計値よりも高いCOPで運転していたことが読み取れる。

なお、COPに偏差が見られるのは、空調システムの効率は外気温度以外に外気湿度や室内負荷によって変動する部分負荷率の影響を受けるためであると考えられる。

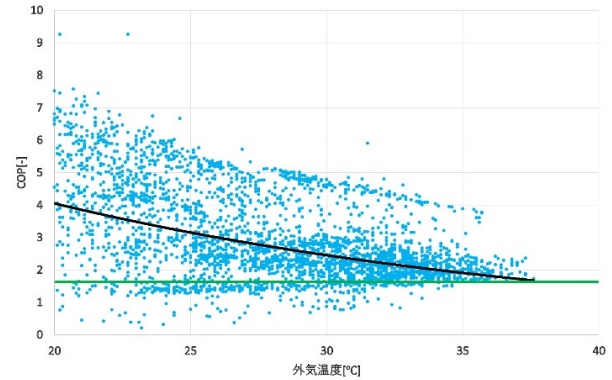


図6 冷房時システムCOP

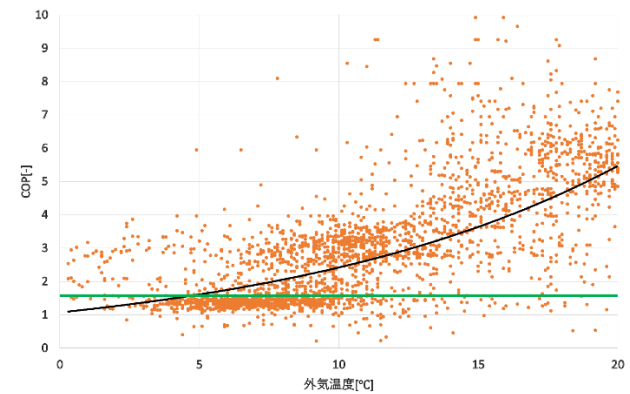


図7 暖房時システムCOP

5. Coil to Coil 再熱方式

夏季の高い湿度を適切に処理するためには、給気温度より低い温度まで冷却して除湿する必要がある。Coil to Coil再熱方式は、冷却コイルにて冷却・除湿後の空気を再熱する際に必要な熱エネルギーを外気から回収することにより、省エネを図る方式である。

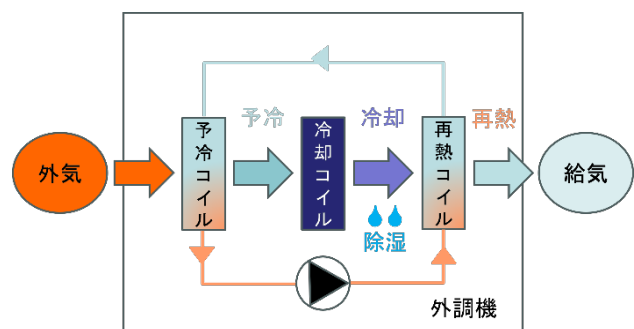


図8 Coil to Coil再熱方式

図-9にCoil to Coil再熱方式を利用した場合と利用しない場合の外気処理空調機における年間処理熱量の比較を示す。非制御時推定処理熱量は、予冷コイルと再熱コイルでの処理熱量を冷却コイルでの処理熱量に加算したものである。Coil to Coil再熱方式を利用することにより、処理熱量を、2023年は554.5GJ(36.4%)、2024年には297.0GJ(21.6%)抑えることができています。この削減量は、設計値に反映されていない数値であり、空調システム全体の1割弱を占めていることより、設計値に比べて実測値が削減された要因の1つであったことが確認された。

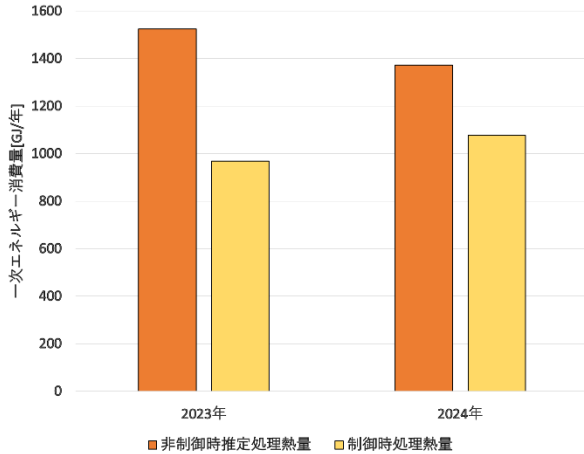


図-9 外気処理空調機処理熱量

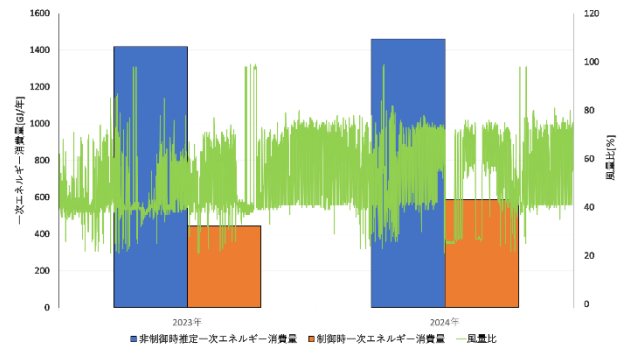


図-10 CO2制御による一次エネルギー消費量と風量比

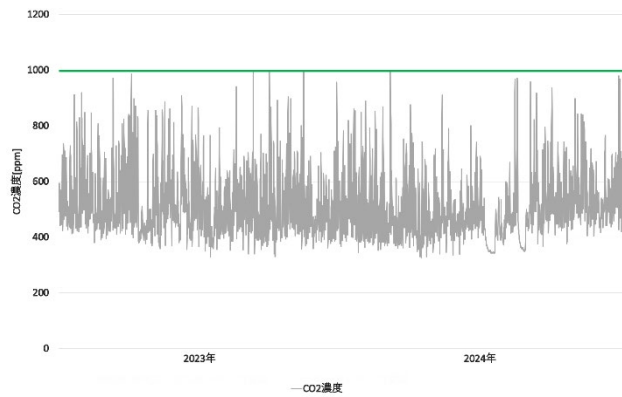


図-11 庁舎内CO2濃度

6. CO2制御

外気処理空調機には室内のCO2濃度による外気導入量を制御するCO2制御を採用している。

図-10にCO2制御を利用した場合と利用しない場合の年間一次エネルギー消費量の比較と定格風量に対するCO2制御時の風量の比率を示す。非制御時推定一次エネルギー消費量は定格で運転した場合の外気処理空調機の電力量から換算した一次エネルギー消費量である。CO2制御を利用することで導入外気量が、定格風量の約40～80%に抑制されたことにより、外気処理空調機単体の年間一次エネルギー消費量は、2023年は974.8GJ(68.7%)、2024年は873.2GJ(59.7%)削減することができた。定量化は困難であるが、導入外気量を抑制することで空調システムの熱源で処理しなければならない熱負荷が低減されるため、空調システムCOPの向上にも寄与していると考えられる。

図-11にCO2制御利用時の庁舎内のCO2濃度を示す。CO2濃度は約400～800ppmを推移しており、室内の基準濃度1000ppmは超えておらず、導入外気量を制御しても、執務環境が悪化していないことが確認できた。

7. まとめ

設計段階、竣工段階において、ZEB Orientedを達成している本庁舎の省エネ性能について、運用段階における実測値により、改めて十分な省エネ性能を発揮していることが確認できた。また、設計段階で導入した省エネ技術に対し、運用段階の実績を基に検証を行い、省エネ効果を確認することができた。特にエネルギー消費性能計算プログラムにおいて、未評価項目となっている技術の省エネ効果も一定程度定量的に確認でき、今後の庁舎整備における様々な省エネ技術の積極的な採用に向け、その効果の根拠の一助となることが期待できる。

2050年カーボンニュートラルに向けて、省エネ技術の積極的な採用を図っていくとともに、その評価手法の把握と検証に努めたいと考える。

謝辞：本稿の作成にあたり、株式会社大林組の皆様にはご多忙にも関わらず、データの提供などの様々なご協力、ご助言をいただきました。ここに感謝の意を表します。

神戸港におけるブルーインフラ (生物共生型港湾整備) への取り組み ～新たな構造物にあつまる生き物～

園部 由季¹

¹近畿地方整備局 港湾空港部 港湾事業企画課 (〒650-0024 兵庫県神戸市中央区海岸通29番地)

国土交通省港湾局では、藻場・干潟等および多様な海洋生物の定着を促す港湾構造物などを「ブルーインフラ」と位置づけ、「命を育むみなとのブルーインフラ拡大プロジェクト」として2022年度から生物多様性の向上による豊かな海の実現に取り組んでいる。神戸港湾事務所では、その一環として、新たに整備する港湾構造物において生物多様性にも配慮した生物共生型構造物（ブルーインフラ）の整備に取り組んでいる。

また、整備後には、生物生息状況のモニタリング調査を行い、その効果を把握している。

キーワード 環境、生物共生型構造物、緩傾斜護岸

1. はじめに

(1) 背景

我が国港湾が物流・産業・生活の場としての国民の生活を守るため、持続可能な発展を遂げる必要がある。過去に劣化・喪失した自然環境を少しでも取り戻し、環境に配慮した港湾機能を付加することが重要であることとして、「港湾行政のグリーン化」を図っており、良好な海域環境の保全・再生・創出を行うため、港湾整備で発生する浚渫土砂や建設副産物等を有効活用し、藻場や干潟の造成等に関する取り組みが行われてきた。

海に生息する海洋植物は、陸上の植物と同じようにCO₂を吸収する効果があり、海洋植物に取り込まれた炭素を「ブルーカーボン」、ブルーカーボンを隔離・貯蓄する海洋植物等で形成された海洋生態系を「ブルーカーボン生態系」と呼んでいる。国土交通省港湾局では、藻場・干潟や海洋生物が持つCO₂吸収や水質浄化といった効果に着目し、ブルーカーボン生態系を活用したカーボンニュートラルの実現や生物多様性による豊かな海の実現を目指して、藻場・干潟及び生物共生型港湾構造物をブルーインフラとして普及・拡大していくため、2022年度から、「命を育むみなとのブルーインフラ拡大プロジェクト」をスタートさせた¹⁾。

神戸港湾事務所では、環境へ配慮した港湾整備の一環として、2020年度に海藻や海生生物の生息場創出を目的に、大阪湾岸道路西伸部事業に伴う防波堤撤去工事で発

生した基礎石やケーソン中詰砂を有効活用し、兵庫運河に干潟を整備した。兵庫運河で干潟の整備を進めるうえで、有識者のほか、港湾管理者である神戸市、漁業関係者、地元小学校などにより構成する兵庫運河ワーキンググループを設置し、水質浄化や藻場造成に取り組む地元関係者の意見を反映させることとした。干潟を構成する磯場・砂浜・タイドプールなどの形状は、地元小学生の提案・希望を反映し、地元小学生によって命名された「あつまれ 生き物の浜」（以下、「あつ浜」という）として地域に親しまれている。

干潟の完成に伴い近隣小学生を招いて水辺での生き物の観察を実施しており、干潟では貝やヤドカリ、アメフラシなどが発見され、砂浜部分にはコケが繁茂するなど今後、生物生息場としての発展が予想される結果となった。兵庫運河の事例は全国で実施されている藻場・干潟の造成の成功事例として広まったところであり、今後は、兵庫運河の再生に合わせて、生物多様性にも配慮した生物共生型構造物の整備について検討を進めることとしている。

(2) 神戸港における生物共生方策について²⁾

神戸港における生物共生方策を進めるにあたり、神戸港湾事務所では、有識者等からなる「神戸港における生物共生方策検討委員会」を立ち上げ、神戸港の港湾整備事業における今後の生物共生に関する方策について、基本的な考え方を整理し、生物生息場の保全・再生・創

出に寄与する以下の3つの方策について検討・実施していくこととなった。

- ① 港湾工事において発生する材料を活用した生物生息場創出の検討
- ② 今後、新たに整備する構造物における生物共生型構造物の検討
- ③ 港湾工事等における海域環境への負荷を低減する等の新技術の検討

これまでに、方策①に基づき発生材を活用した兵庫運河の「あつ浜」を整備した。現在は、方策②に基づいて、新たに整備する土砂処分場護岸において生物共生に配慮する取り組みを行っており、今回はこの内容について報告する。

(3) ワーキンググループの発足

新たに整備する土砂処分場護岸における生物共生型構造物の検討を進めるため、「緩傾斜護岸生物共生型構造物活用ワーキンググループ」（以下、「緩傾斜護岸WG」という）を立ち上げた。緩傾斜護岸WGには、生物・環境の有識者に加え地元の漁業関係者、地元行政等、港湾環境に関わる方々に参加いただいた。

緩傾斜護岸WGでは、調査対象生物の選定、適用するブロックの諸元（形状、材質等）の選定、施工計画、調査・モニタリングの計画に関する評価や妥当性の検討を行った。

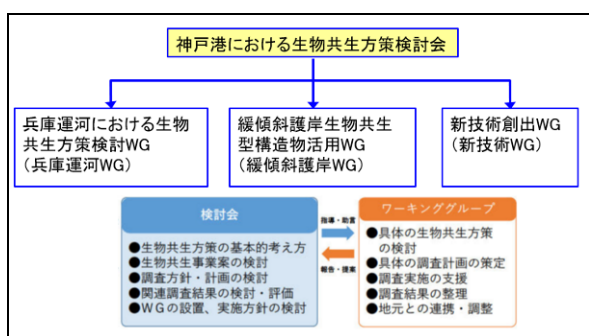


図-1 生物共生方策検討会体制図

2. 六甲アイランド南緩傾斜護岸の整備について

(1) 六甲アイランド南地区緩傾斜護岸整備の概要

六甲アイランド南地区浚渫附帯施設は、神戸港の港湾整備事業にて発生する浚渫土などを安定的に処分するために計画された土砂処分場である。大阪湾岸道路西伸部事業の橋脚基礎工事に伴い発生する土砂を受け入れるため、当該附帯施設の拡張が必要となり、既設西側護岸

前面に新たに「六甲アイランド南地区緩傾斜護岸」を整備することとなった。

新設護岸の構造形式として、当初設計時には傾斜式・ケーソン式（流用）・ケーソン式（新規）の3種が候補として挙げられていたが、経済性や生物多様性の観点から傾斜式を採用した。



図-2 六甲アイランド南地区浚渫附帯施設拡張部
及び緩傾斜護岸の位置図

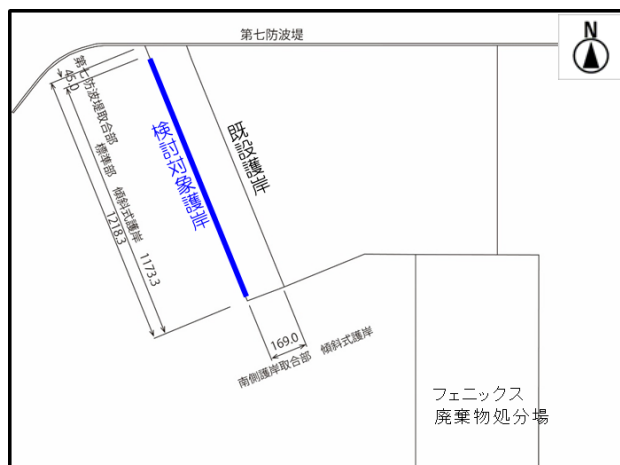


図-3 六甲アイランド南地区浚渫附帯施設平面図

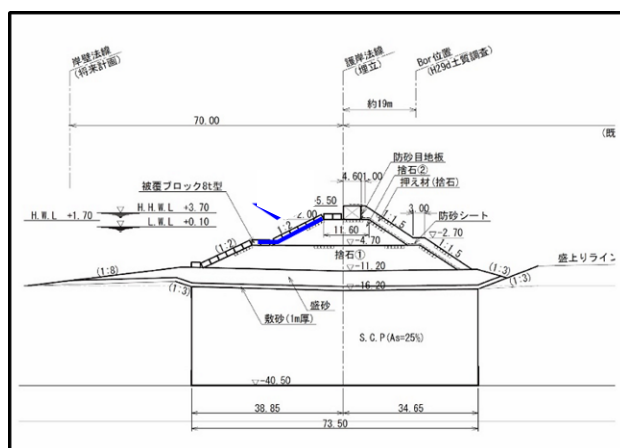


図-4 六甲アイランド南地区緩傾斜護岸断面図

3. 緩傾斜護岸での生物共生への取り組み

神戸港は、岸壁や護岸、防波堤で囲まれ、閉鎖性が高く、その多くが直立式で整備されているため、潮間帯に生息する多くの生物が定着しにくい構造となっている。そこで、新たに整備する緩傾斜護岸の被覆ブロックについて、生物の生息に配慮した検討を行うこととなった。

緩傾斜護岸WGでの検討を踏まえ、生物共生型緩傾斜護岸の整備後の目標として、多年生を含む藻場の形成、餌場機能の向上、多様性の確保、早期の藻場形成を掲げている。藻場の形成に適した被覆ブロックの種類や配置を検討すると共に、海藻の着生を促進するために実験的に一部の被覆ブロックに付加する「多孔質基質」の選定を行った。

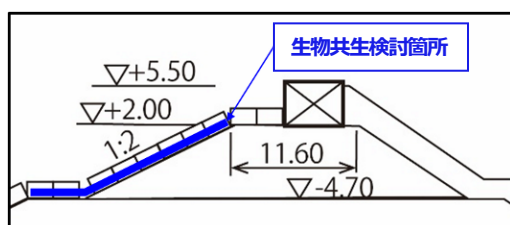


図-5 被覆ブロック設置位置図

(1) 配置

海域条件を踏まえ、想定される藻場と海藻の着生・生育に適した配置を検討した。

整備する護岸周辺の海域条件は、図-6のとおりで潮流の平均流が若干異なるが、ほぼ一様であり、海藻類の着生環境としては、場所による違いはほとんど見られない。



図-6 護岸周辺の海域条件

そのため、被覆ブロックの配置については、対象水域海域条件によるゾーニングは行わず、ターゲットとする海藻類の種類と、海藻の着生・生育を阻害する要因とな

る堆積物（浮泥）が堆積しにくい形状であることを考慮し、2種類のタイプのブロックを交互に配置することとした。（図-7）

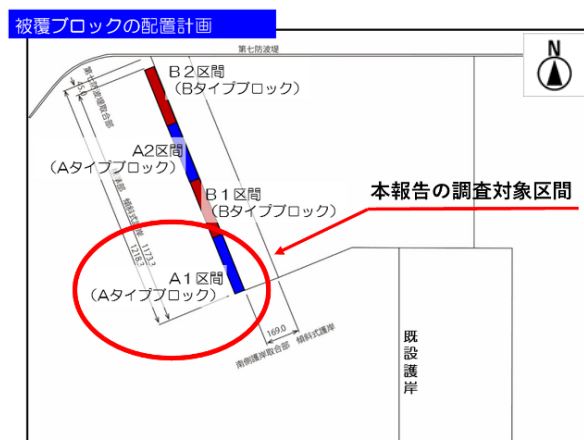


図-7 被覆ブロックの配置

(2) 生物共生に向けた被覆ブロックの選定

新設護岸周辺海域には、一年生海藻が多く繁茂している。これらは冬から初夏にかけて形成され、夏以降には消失すると考えられる。そこで、一年生のワカメ、シダモク、タマハハキモクに加え、周年にわたって藻場を形成する多年生海藻のヨレモクモドキ、カジメ、ヒジキもターゲットとした。

設置する被覆ブロックは、現場条件に応じて経済性、安定性など総合的に評価し、多様な藻場の形成、海藻の着生を考慮した以下の2タイプのブロックを選定した。

a) Aタイプ（ペルメックス(図-8)、パラクロス(図-9)）

海藻の着生・生育を阻害する要因である堆積物（浮泥）への対策として、脚部が長く穴が大きいAタイプのブロックを選定した。また、上部の凸凹や穴により稜角部が多くなり、ワカメやカジメの着生に適している。



図-8 ペルメックス



図-9 パラクロス

b) Bタイプ(ストーンブロック平型(図-10)、突型(図-11))

天端の平坦な部分が大きく、多様な生物の共生が期待できる。特にホンダワラ類等の着生に適している。

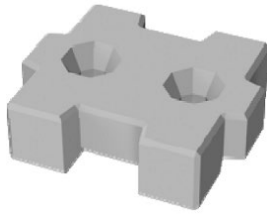


図-10 平型



図-11 突型

(3) 多孔質基質の選定

通常の被覆ブロックのみの設置に比べて、多様な生物の着生を促進するための付加物（多孔質基質）を取り付けた場合、どの程度生物の多様性に影響があるかを把握するため、一部のブロックに実験的に取り付けることとした。付加物ごとの海藻類の種類・被度、付着動物の種類・個体数、浮泥の堆積状況を調査することを目的とし、求められる機能と本海域への適合性、安定性、施工性及び経済性を踏まえて以下①～③の3種類の多孔質基質を選定した。これらは、天端の平坦部分が広いBタイプの被覆ブロックに付加した。（表-2）

①環境活性コンクリート突起型

②アミノ酸配合藻場増殖プレート

③海藻着生基質セラボラ架台

斜面部には、安定性等に配慮した比較的高さの低い①、②を配置し、比較的稳定度が高い小段部には、魚介類の蛸集を考慮した③を配置する。

表-2 多孔質基質の比較

タイプ	①環境活性コンクリート突起型	②アミノ酸配合藻場増殖プレート	③海藻着生基質セラボラ架台
取付図			
構造・機能	■構造・機能 栄養素溶出機能、突起構造による浮泥払拭機能 ■期待する効果 魚類等の生育、浮泥堆積の抑制、ワカメ・カジメ等の大型海藻類の着生	■構造・機能 栄養素等溶出機能・多孔質構造による稜角部確保機能 ■期待する効果 魚類等の生育、浮泥堆積の抑制	■構造・機能 多孔質構造、斜面配置による浮泥堆積対応構造、立体構造による生物集積機能 ■期待する効果 魚類等の生育、浮泥堆積の抑制、ワカメ・カジメ等の大型海藻類の着生

4. 被覆ブロック据付工事

選定した被覆ブロックは、2023年から神戸港航路附帯施設築造工事で据え付けを開始しており、これまでにA1区間は2023年7月、B1区間は2024年6月、B2区間は2024年8月にそれぞれ据付が完了した。A2区間については、今後引き続き施工していく予定である。当該工事では、別件工事で製作した被覆ブロックを、製作場所から施工場所へ運搬し（図-12）、起重機船を用いて据え付けた（図-14）。水中部への据付については、ICTを活用した水中可視化システムや作業員吊荷作業安全監視システム、起重機ブーム先端位置管理システムなどを活用

した施工を行い、作業効率、施工精度および安全性の向上を図った。



図-12 被覆ブロックを製作場所から運搬



図-13 被覆ブロック据付状況



図-14 起重機船での据付状況



図-15 被覆ブロック据付後

5. 環境モニタリング

緩傾斜護岸の整備による生物共生の効果を把握するため、海藻類の生育環境・生育状況について、海藻類の生育時期を踏まえ、2024年度の春、夏、冬に調査を実施した。本報告では、1年間のモニタリングが完了したA1区間について報告する。

(1) モニタリング調査計画

a) 海藻類の生育環境の把握

海藻類の生育に重要な水質（透明度、水温、塩分、光量子、濁度）や浮泥の堆積状況の調査を実施。

b) 海藻類等の生育状況の把握

経年的な変化を把握するため、定期的（春、夏、冬）に調査を実施。区間全域の主な海藻類被度を把握する概略調査(図-16)と代表側線で海藻類に加えて付着動物、魚類の生息状況を詳細に把握する鉛直調査(図-17)を実施。

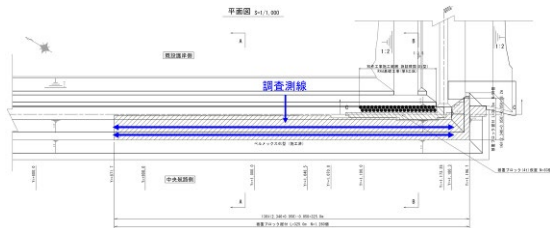


図-16 A1区間の概略調査

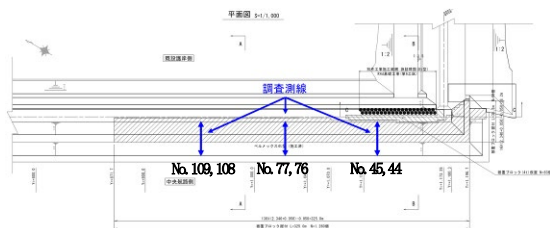


図-17 A1区間の鉛直調査

(2) モニタリング調査方法

a) 海藻類の生育環境の把握

透明度板、水質計を用いて測定を行った。

b) 海藻類等の生育状況の把握

A1 区間全体の概略調査は、水中スクーターを用いた潜水目視観察で行い、代表測線での鉛直調査は、特定の区域内で生物の分布や被度を調査する手法であるベルトトランセクト法による潜水目視観察で行った。

(3) モニタリング調査結果

a) 海藻類の生育環境の調査結果（水質測定結果）

水温について、春季・夏季においては、表層における調査日による変動が比較的大きくなった。冬季の変動は比較的小さく、深度による変動も小さい結果となった。

塩分について、春季において、表層部で低塩分である期間があったが、夏季・冬季においては、極端な低塩分は確認されず、各調査日を通じた変動も小さい結果となった。

光量子について、各時期、各調査日ともに水深に応じて指数関数的に減少した。

濁度について、春季は表層部でやや高くなったが、夏季においては、各層を通じて低い結果であった。冬季に

おいては各層を通じて低い結果を示した。

浮泥については、春季・夏季・冬季のすべての期間において、南側より北側の方がやや多く、また、斜面部より小段部の方がやや多い傾向がみられた。しかし、海藻類の生育に影響を及ぼすレベルではないと考えられる。

以上より、今回調査を行った範囲の海藻類の生育環境については、すべての項目において大きな差異は見られなかった。

b) 海藻類等の生育状況の調査結果（A1 区間）

・概略調査（図-18～20）

被覆ブロックの据付が約 1 年経過した A1 区間について、海藻類全体の生育状況が春調査（2024 年 6 月実施）では、斜面部・小段部ともに高い被度（広い範囲で「濃生域（被度 75%以上）」）であり、ホンダワラ類（タマハハキモク、シダモク、ホンダワラ属）、ワカメ、アオサ属など多くの海藻類が観察されたが、夏調査（2024 年 9 月実施）では、斜面部、小段部ともに被度（全域で「ごく点生域（被度 5%未満）」）は大きく減少し、春調査で観察されたワカメ、アオサはみられなかった。冬調査(2025 年 1 月実施)では、斜面部・小段部ともに被度は大部分の区画で「疎生域（被度 25～50%）」まで回復した。観察される海藻類については春調査と比較して大きな変化はなかった。

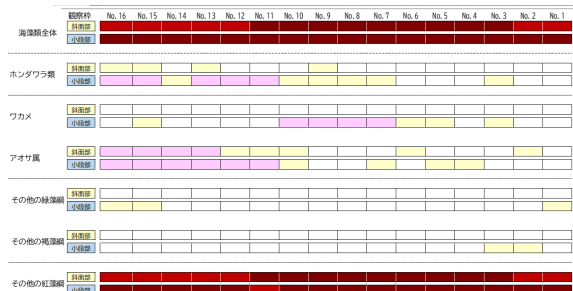


図-18 A1区間全体の概略調査結果(2024年春)

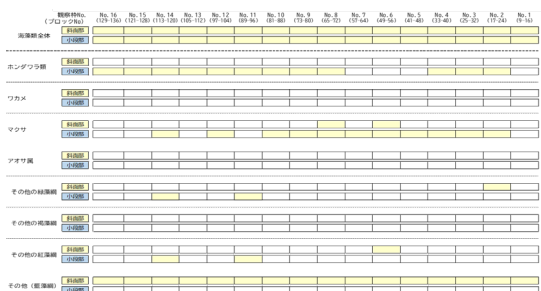


図-19 A1区間全体の概略調査結果(2024年夏)

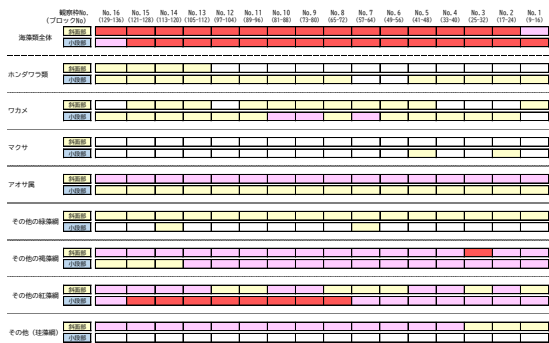


図-20 A1 区間全体の概略調査結果(2024 年冬)

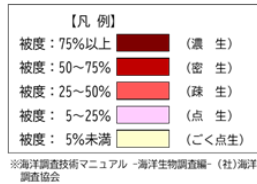


図-21 概略調査の凡例

・鉛直調査 (表-3~8)

海藻については、春調査で 20 種類見られたが、夏調査では 7 種類にまで減少した。冬調査で 17 種類まで回復した。付着動物については、フジツボやマナマコなど 26 種類が確認された。季節的な変化は見られなかった。魚類は、暑い時期に多く見られ、寒い時期にはほとんど見られなかった。また、現時点では、植食魚類としてクロダイやアイゴの蛸集などが確認されているが、現時点では、明確な食害などは確認されていない。

表-3 A1区間の鉛直調査結果(2024年春)

	北側測線(109.108)	中央測線(77.76)	南側測線(45.44)
海藻	●出現種は20種類 ●生育状況 最浅部: ボタンアサ等 水深2.5m付近: タマハハキモク 水深5m付近: ワカメ	●出現種は19種類 ●生育状況 最浅部: ボタンアサ等 水深2.5m付近: フダタク 水深5m付近: ワカメ, シダモク	●出現種は13種類 ●生育状況 最浅部: ボタンアサ等 水深2.5m付近: フダタク 水深5m付近: ワカメ
動物	●出現種は26種類 ●生育状況 最浅部: タタジマフジツボ 水深4m以深: ユウレイボヤ属, マナマコ	●出現種は24種類 ●生育状況 最浅部: タタジマフジツボ 水深4m以深: ユウレイボヤ属, マナマコ	●出現種は22種類 ●生育状況 最浅部: タタジマフジツボ 水深4m以深: ユウレイボヤ属, マナマコ
魚類	●出現種は8種類 ●生育状況 メバル属が広い水深帯で出現 水深4.2m付近で観測	●出現種は4種類 ●生育状況 メバル属が広い水深帯で出現 水深3.3m, 6.4m付近で観測	●出現種は8種類 ●生育状況 メバル属が広い水深帯で出現 水深3.2m以深でメバル属が出現 水深4.3m付近で観測

表-4 A1区間での主な出現種(2024年春)

海藻 (ホンダアサ)	動物 (マナマコ)	魚類 (メバル属)

表-5 A1区間の鉛直調査結果(2024年夏)

	北側測線(109.108)	中央測線(77.76)	南側測線(45.44)
海藻	●出現種は5種類 ●生育状況 最浅部: 藍藻類が少量 水深2.5m付近: タマハハキモク 水深5m付近: シダモク	●出現種は5種類 ●生育状況 最浅部: 藍藻類 水深2.5m付近: フダタク 水深5m付近: シダモク, カバノリ	●出現種は5種類 ●生育状況 最浅部: 藍藻類 水深2.5m付近: カバノリ, マクサ 水深5m付近: シダモク
動物	●出現種は28種類 ●生育状況 最浅部: タタジマフジツボ 水深3m付近: サンショウウニ, マナマコ	●出現種は24種類 ●生育状況 最浅部: タタジマフジツボ, アメリカフジツボ 水深3m付近: サンショウウニ, マナマコ	●出現種は24種類 ●生育状況 最浅部: タタジマフジツボ 水深3m付近: サンショウウニ
魚類	●出現種は12種類 ●生育状況 浅所でアイゴが多数出現 広範囲でイシナ, クロダイ等が出現	●出現種は15種類 ●生育状況 浅所でアイゴが多数出現 広範囲でイシナ, クロダイ等が出現	●出現種は10種類 ●生育状況 浅所でアイゴが多数出現 広範囲でイシナ, クロダイ等が出現

表-6 A1区間での主な出現種(2024年夏)

海藻 (シダモク)	動物 (サンショウウニ)	魚類 (クロダイ)

表-7 A1区間の鉛直調査結果(2024年冬)

	北側測線(109.108)	中央測線(77.76)	南側測線(45.44)
海藻	●出現種は17種類 ●生育状況 最浅部: 藍藻類, アオサ属 水深1m付近: フクロノリ, タシア科 水深5m付近: ワカメ, シダモク	●出現種は17種類 ●生育状況 最浅部: 藍藻類, 珪藻類, アオサ属 水深1.1m以深: フクロノリ, タシア科 水深5m付近: シダモク	●出現種は15種類 ●生育状況 最浅部: 珪藻類, 藍藻類 水深0.2m以深: フクロノリ, タシア科 水深5m付近: シダモク
動物	●出現種は24種類 ●生育状況 最浅部: タタジマフジツボ, マガキ 水深1m以深: アメリカフジツボ等	●出現種は17種類 ●生育状況 最浅部: タタジマフジツボ, マガキ 水深1m以深: カンザシゴカイ科等	●出現種は21種類 ●生育状況 最浅部: タタジマフジツボ, マガキ 水深1m以深: カンザシゴカイ科
魚類	●出現種なし	●出現種は1種類 ●生育状況 水深3m付近でハゼ科がごくわずかに出現	●出現種は2種類 ●生育状況 水深3m付近でクロダイ, メバル属が出現

表-8 A1区間での主な出現種 (2024年冬)

海藻 (フクロノリ)	動物 (アメリカフジツボ)	魚類 (メバル属)

6. 終わりに

今回は、被覆ブロック設置後、1年経過したA1区間のモニタリング結果を報告した。A1区間については、現時点では、季節的消長が見られるようになっており、順調に藻場が形成されつつあると評価できる。また、浮泥の堆積や食害などの影響は明確に確認されていない。引き続き、現在整備中の他区間 (A2区間, B1区間, B2区間) についてもモニタリングを行い、護岸全体の生物共生効果を把握し、今後発生する可能性がある浮泥や食害対策の必要性の検討も行っていく予定である。

また、モニタリング手法について、現在は潜水土の直接目視により実施しており調査に時間がかかるため、新たな技術を活用した効率的なモニタリング手法の検討が必要である。また、整備後の管理について、環境活動団体、教育・研究機関、港湾・海域利用者等と連携した管理手法について検討する必要があると考えている。

巻末: 本論文は、従前の配属先 (神戸港湾事務所) における所掌内容を課題として報告したものである。

参考文献

- 1) 国土交通省港湾局: 命を育むみなとのブルーインフラプロジェクト
- 2) 神足美友: 防波堤の石や砂から「あつまれ 生き物の浜」ができるまで~小学生が描いた干潟が完成~ (令和3年発表資料)

一庫ダムにおける河川環境復元対策と効果について

村上裕哉¹・滝本雅之²

^{1,2}水資源機構桂川・猪名川ダム総合管理所 一庫ダム管理所 (〒666-0153兵庫県川西市一庫字唐松4-1)

一庫ダムは、淀川水系猪名川支川一庫大路次川に建設された重力式コンクリートダムであり、1983年に管理を開始した。一般的に、ダムを建設すると、その下流河川において土砂供給の遮断や河川流量の平滑化等により河川環境が変化するとされている。一庫ダムにおいても河床材料の粗粒化やヨシ、藻類の繁茂等により、魚類等の生息に適した環境が減少していった。そこで、2002年よりフラッシュ放流や土砂還元等の河川環境復元対策を開始し、これら対策の効果検証を目的としたモニタリング調査を継続して実施している。本稿は、一庫ダムの河川環境復元対策の実施状況、及び現段階での効果検証結果について報告するものである。

キーワード 河川環境復元、フラッシュ放流、土砂還元、弾力的管理試験、モニタリング調査

1. はじめに

一庫ダムは、淀川水系猪名川支川一庫大路次川に建設された、洪水調節、水道用水の供給、流水の正常な機能の維持を目的とした多目的ダムであり、1983年に管理を開始した。一庫ダムの諸元を表-1示す。

一般的に、ダムを建設するとその下流において河川環境が変化するとされており、一庫ダムにおいては管理開始20年頃にはアユをはじめとする魚類等の減少が確認された。その要因として、土砂供給の遮断や河川流量の平滑化を起因とする①河床のアーマースコート化や浮石等の減少による魚類等の生息場の変化、②付着藻類の更新頻度の減少などの餌環境の変化が考えられる。特に、一庫ダムは渇水リスクの高いダムであり、近年では2020～2023年度の4年連続で取水制限を伴う渇水対応を行っており、河川流量が平滑化し易い。

上記背景の下、一庫ダムでは2002年より、再び魚類等が生息可能な河川環境の復元を目標に、玉石投入、ヨシの除去、フラッシュ放流、土砂還元や弾力的管理試験といった河川環境復元対策を実施している。また、その効果検証のため、魚類等のモニタリング調査を継続している。本稿は、一庫ダムで実施している河川環境復元対策の実施状況、及び現段階での効果検証結果について報告するものである。

表-1 一庫ダムの諸元

堤高	75.0 m	堤頂長	285.0 m
総貯水容量	33,300 千m ³		
	洪水期：6/16～10/15	非洪水期：10/16～6/15	
洪水調節容量	4,000 千m ³	17,500 千m ³	
利水容量	26,800 千m ³	13,300 千m ³	
流域面積	115.1 km ²		

2. 河川環境復元対策

2.1 課題の抽出と対策検討

河川環境復元対策を実施するにあたり、当時の河川環境を把握するため、魚類、底生動物、付着藻類の調査を実施し、猪名川の河川生物生息環境を評価した上での表-2とより課題点の抽出と対策の検討を行った。

表-2 課題点及び対策

課題点	対策
・岩盤が多く、魚類、底生動物が生息、産卵するための石礫や砂が少ない ・底生動物、魚類が好んで食べる付着藻類が少ない ・出水などによる自然の攪乱による河道の変動の消失（ヨシの繁茂等）	・土砂還元、玉石の投入（主にアユ） ・流況の変化（フラッシュ放流） ・陸生植物の除去

2.2 ヨシの除去・玉石投入

河道の変動が消失し、陸生の植物が繁茂すると水辺が減少し、水生生物の生息範囲が縮小される。特にアユの生息には、水面に光の当たる時間は6～12h/日程度が望ましく、冬場の内に付着藻類を食すオイカワ等が定着し

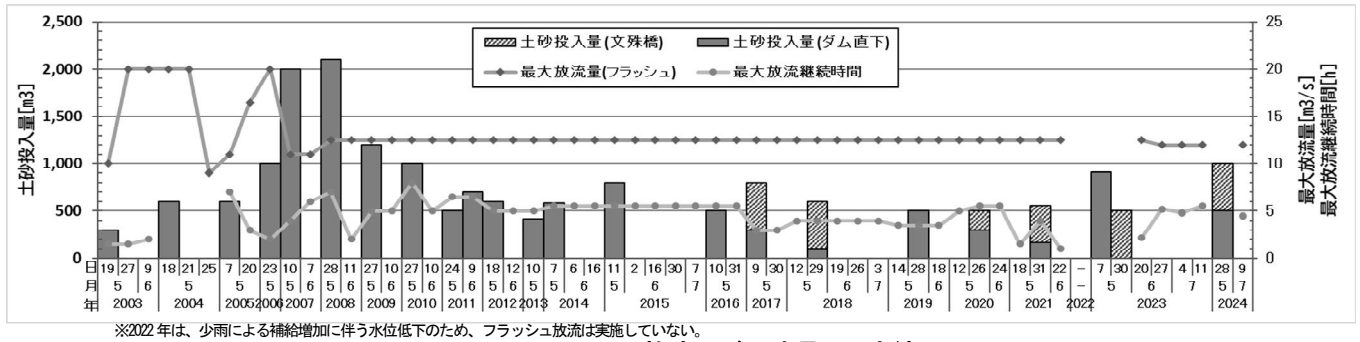


図-1 フラッシュ放流及び土砂還元の実績

餌環境が保全されることが必要であり、加えて、なわばりや外敵からの避難場所となり得る生息場が必要で、人頭大の石礫が適する。また、オイカワの生息には陸生植物が入り込まない瀬で、砂礫底が必要となる。

以上の理由から、2002年にダム下流約300～600mの範囲で、①ダム管理開始以降繁茂していた陸生植物のヨシを除去し、②10～40cmの玉石を河川工事の残土よりふり分けて投入することで、河川環境の改善を図った。

2.3 フラッシュ放流及び土砂還元

ダム建設により、その下流河川において流量が平滑化、土砂供給が遮断されることで、魚類等の生息場や餌となる付着藻類の更新頻度の減少、河床の粗粒化・アーモコート化等が生じ水生生物の生息場が減少する。そのため、2003年からフラッシュ放流及び土砂還元による掃流力を利用した対策を開始している。フラッシュ放流及び土砂還元の実績を図-1に示す。ただし、図-1には後述の弾力的管理試験におけるフラッシュ放流の実績を含む。

フラッシュ放流は平常時最高貯水位（EL. 149.0m）から弾力的管理試験の活用容量に相当する水位（EL. 136.7m）に低下させるドローダウン操作時に併せて実施している。最大放流量は、2005年までは利水放流設備の放流上限である $20\text{m}^3/\text{s}$ としていたが、構造上、放流量が $12.5\text{m}^3/\text{s}$ を超えると低層取水となり、冷水放流による水生生物等への影響が懸念されたため、2006年は非常用洪水吐から $20\text{m}^3/\text{s}$ の放流を実施し、2007年以降は低層取水とならない $12.5\text{m}^3/\text{s}$ を上限とし放流している。

土砂還元は図-2のダム直下及び下流約3.0kmにある文殊橋の2地点で実施しており、投入する土砂はダム上流に堆積した土砂を採取することを基本としている。これにより、貯水池容量の延命化を図るとともに、本来の自然状態に近い下流への土砂移動を意識している。土砂は上記のフラッシュ放流と併せて、重機で直接投入しており、少ない流量でも分散しやすい効率的な土砂還元となるように工夫している。

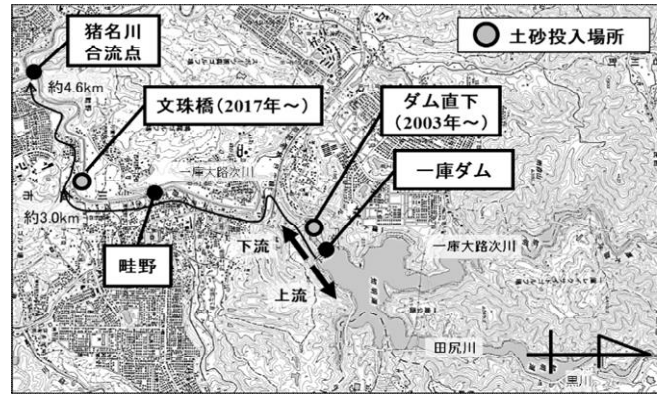


図-2 土砂投入位置

2.4 弾力的管理試験

一庫ダムでは、維持流量の増量により魚類の生息環境の保全・向上を図ることを目的に、2006年より弾力的管理試験を実施している。弾力的管理試験は、洪水貯留準備水位（EL. 135.3m）から最大+1.4mの洪水調節容量に活用容量として貯留し、補給に用いることで、下流河川において魚類の生息に望ましい流量を確保する取り組みである。実施期間は、洪水リスクが高くなる前の6/16～7/15の期間とし、利水への影響を考慮し活用容量内に貯留している場合のみ試験を実施している。アユ、オイカワ、ヨシノボリ類の3種を対象魚種として、下流基準地点（畦野）において生息（移動・産卵）に必要な流量 $1.22\text{m}^3/\text{s}$ を確保する計画であり、この必要流量からの不足分を過年度の流況より求め、そこにフラッシュ放流4回分の容量を加えて活用容量を算定した。現状の試験計画の概要を図-3に示す。

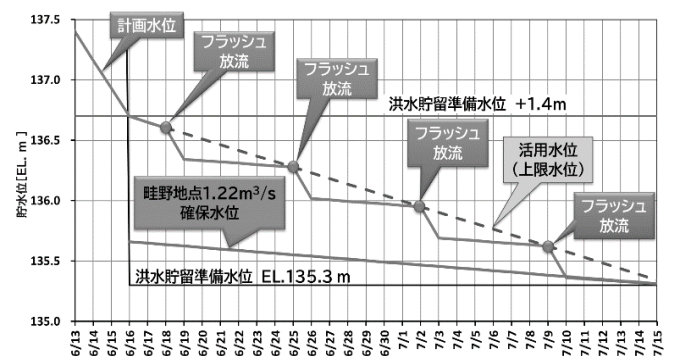


図-3 弾力的管理試験の水位運用イメージ

3. 河川環境復元対策の効果検証

3.1 還元土砂追跡調査

河川環境復元対策の物理的な影響を把握するために、2009～2012 年度で還元土砂の流下範囲を追跡調査している。調査方法は、ダム直下での土砂還元実施時にトレーサー（石灰石）を投入し、河川環境復元対策実施後に 100m 間隔で、現地目視、ふるい分け試験にてトレーサーの有無を確認した。トレーサーの鑑定には希塩酸滴下法を採用し、発砲を確認することで行った。

その結果、 $\phi 0.25 \sim 2\text{mm}$ のものについては下流約 4.6km の猪名川合流点まで流下が確認された。 $\phi 2 \sim 40\text{mm}$ のものについては、下流約 800m 地点の堰付近への一時的な堆積が確認されたが、 $50\text{m}^3/\text{s}$ 程度のダム放流量があれば猪名川合流点まで流下することが示唆された。

3.2 下流河川生物相のモニタリング調査

3.2.1 調査概要

河川環境復元対策の効果検証のため、ダム下流河川において魚類、底生動物、付着藻類の生物相のモニタリング調査を実施している。2023 年の調査は図-4に示す地点において、5～11 月に 1 回/月の頻度で実施している。

3.2.2 モニタリング結果及び河川復元対策の評価

河川環境復元対策の効果検証を行うため、2023 年までのモニタリング調査結果を 10 個の着眼点で評価した。

(1) 河川環境復元対策実施前後での魚類確認種数の比較

ダム下実験区①、②で確認した在来魚の総種数は、2023 年で 16 種となり、2002 年以来最多である。特に、河床の浮き石状態の指標となるカワヨシノボリ等小型の底生魚が継続して確認されており、当年は 4 種と多かった。また、砂質河床に生息する底生魚も確認され、砂質の河床環境が整っていることを示した。

(2) 指標種のオイカワに着目した生態系の持続性

オイカワは、冬季に付着藻類を食すため、春季以降の藻類を食す種の生息環境を整える働きがあり、寿命が 3 年程度で定住性があることから、河川環境復元対策による改善効果の指標となる種と考える。ダム下実験区①、②での確認個体数の変遷を図-5に示す。03 年の土砂

還元開始時からみると、調査年により変動があるものの増加傾向にある。なお、2021 年以降はオイカワの捕獲数が減少しているが、これは 2020 年より 4 年連続で渇水傾向にあった影響と思われる。また、体長 20～50 mm 未成魚が多く確認されており、ダム下流域で自家生産していると思われる。

(3) 底生魚に着目した持続可能な生産性の維持

底生魚の多くは河床の石礫間の窪みや巨石の陰、砂底に潜る。そのため、流量が充分で、水深が概ね 50 cm 以上の深みが散在する河川形態が生息場に適する。ダム下実験区①、②での底生魚類の種数及び確認個体数の経年変化を図-6に示す。2023 年は底生魚の種数と個体数が最多で、調査 1 回あたりの個体数は 63.6 個体で対策開始年に比して 27.7 倍となった。種数は、対策開始年の 5 種から 10 種になった。このことから、河川環境復元対策により、ダム下流域で流速と水深が多様な瀬と淵ができ、河川の生産性が維持されていることが示唆される。

(4) 浮き石状況に着目した溪流河川環境の持続性

小型の底生魚と浮き石状態の河床で産卵するカワムツを浮き石指標種とし、それらの個体数と種数を分析することで浮き石状態を評価した。ダム下実験区①、②での浮き石指標種の個体数及び種数の経年変化を図-7に示す。2023 年調査の浮き石指標種の種数は 4 種で、個体数は 405 個体と最多となり、河川環境復元対策開始年に比して 16 倍以上に増加した。種数は、玉石投入直後の 2002～2007 年は 2～3 種であったが、2009 年からは 4～5 種となるパターンが定着している。以上より、河川復元対

策により浮き石河床を利用する魚類の産卵床が形成され、溪流河川環境を維持していると考えられる。

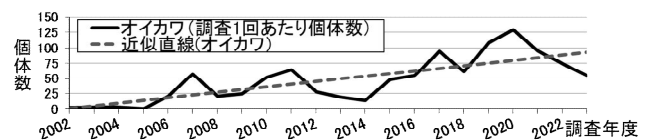


図-5 オイカワの確認個体数の経年変化

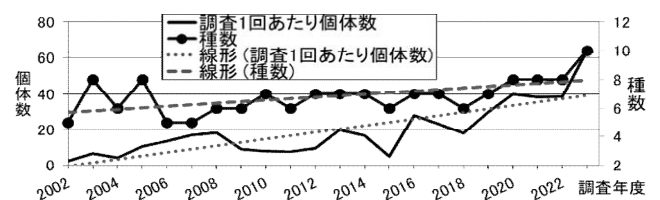


図-6 底生魚の確認個体数の経年変化

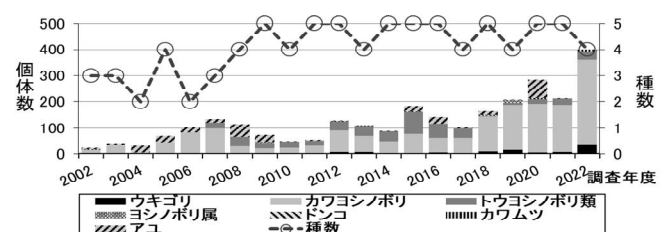


図-7 浮き石指標種の個体数及び種数の経年変化



図-4 モニタリング調査地点 (2023 年)

(5) 河川の河床及び河畔環境

河床状態に敏感なヨシノボリ類、河畔環境に特に敏感なカワムツを指標種とし、ダム下実験区①、②での個体数の経年変化を図-8に示す。ヨシノボリ類の調査1回あたり個体数は河川環境復元対策開始年の1.67個体に対し、2023年には最多の51.0個体で30.5倍に増加した。また、2023年調査のカワムツの個体数は最多の9個体で、河川環境復元対策開始年と比較して9.0倍に増加した。ダム下実験区①、②はカワムツの生息条件の一部を満たしているといえるが、平瀬に繋がる陰のある緩流域が少なく、産卵場となる小礫から中礫の河床が少ないため、さらに河川環境復元対策の河床改善効果が発現され、下流域からの新たな個体群の定着が期待される。

(6) 河床環境の再生状況

ダム下流域での河床環境の再生状況をカマツカとシマドジョウ類の個体数より評価する。ダム下実験区①、②のカマツカとシマドジョウ類の個体数の変化を図-9に示す。2023年のシマドジョウの個体数は40個体で最多であった。一方、カマツカの個体数は安定せず、その要因として、砂に砂利混じりの底質の範囲が狭いこと、出水等による底生動物の定着状況の影響が考えられる。

(7) 河川内の土砂の連続性

八幡はダム下流の河川が大きく蛇行するところに位置し、右岸側に広い河畔林があり、流速が多様で魚類の隠れ場が多いため、ダム下実験区①、②の魚類の避難場、魚類の供給源となり得る。そのため、八幡の環境が維持され流れが連続することが重要である。2023年の在来種全体の確認個体数は176個体で対策開始年の5.9倍に増加、種数は18種で河川環境復元対策開始年の11種から増加傾向にある。これは河川環境復元対策により河床

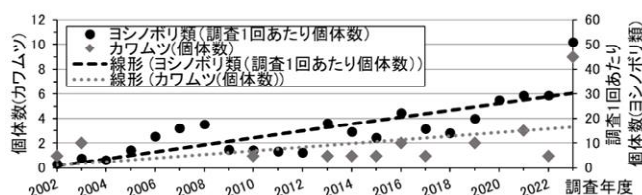


図-8 ヨシノボリ類及びカワムツの個体数の経年比較

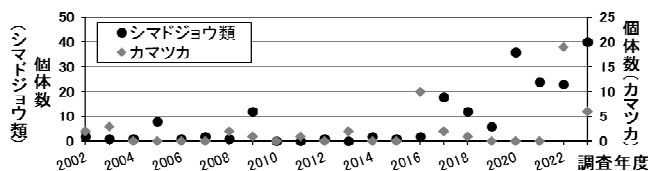


図-9 カマツカ・シマドジョウ類の経年比較

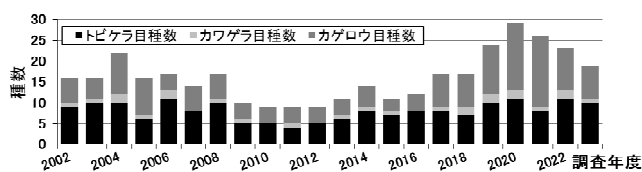


図-10 カゲロウ、カワゲラ、トビケラ目の経年変化

が更新されているためと考えられる。

(8) 底生動物からみた溪流性の生態系の再生

カゲロウ、カワゲラ、トビケラ目の多くの種は溶存酸素の多い流速のある水域や汚濁の少ない流域に生息し、良好な環境の指標となる生物群である。当該3目のダム下実験区①、②での種数の変化を図-10に示す。2023年の種数は、減少傾向に転じた2020年以降で最も少なかった。これは、当年は9月以降の出水が少なく渇水状態が続いていたこと、昨年からの還元土砂が多く沈み石状態となったことが要因と考えられる。このように、流況の影響を受けることが考えられるため、今後も河川環境復元対策を継続し、河床環境を整えることが望まれる。

(9) 洪水による攪乱後の生物相の回復状況

降水量や放流量が多い日が続くと、遊泳力の小さい底生動物や稚魚は下流へ流されられると思われる。しかし2018年7月豪雨の翌年の調査結果から、当該豪雨後の底生動物相は確認種数が増え、攪乱された後にも生物相は回復する抵抗力をもっていることが明らかになった。

また、極端な渇水であった2022年のダム下実験区①、②では、魚類の種数が増えるなど、渇水状態が魚類相に及ぼした影響はみられないと考えられる一方で、底生動物相から見ると(8)のとおり底生動物の種数が減少した。

(10) 付着藻類に着目した生産性・回復力

ダム下実験区①では、ダム上流の千軒と同様に藻食魚の餌になりやすい藍藻 *Homoeothrix* が8~10月に優占し、ハミアトも6~10月によくみられた。このことから、ダム下実験区①でも藻食動物の餌環境の生産性が維持されていると考えられる。ダム下実験区②と八幡では、藻食魚の餌になりにくい糸状緑藻や糸状珪藻が優占することが多く、ハミアトはダム下実験区①に比べては少なかったが、石礫を覆うほど繁殖することはない、優占種の交代が頻繁にみられる。以上より、藻類の剥離・更新が示唆され、生産性と回復力が高いといえる。

4. まとめ

これまでの効果検証結果から、①還元土砂は猪名川合流点まで供給されていること、②生物相調査からみると河川環境復元対策により河川環境の改善効果がみられること、③生物相はある程度の渇水や洪水等の環境変化に耐える許容量があり、流況が変化することで、より多様な生物が生息できる環境が形成されていることが考えられる。

今後も河川環境復元対策を継続し、増加傾向に転じてきたカワムツや安定が未確認のカマツカが定着するよう努めていく方針である。

砂防事業で発生した伐採木材の有効活用に関する取り組みについて

貫名 空馬

近畿地方整備局 和歌山河川国道事務所 工務第一課

(〒640-8227和歌山県和歌山市西汀丁16)

六甲砂防事務所が発注する砂防工事において、発生する伐採木を過年度まで有償処分に対応していた。本論文では、SDGsの目標15「陸の豊かさを守ろう」をふまえた伐採木の有効活用に関する六甲砂防事務所での取り組みとその効果について報告すると共に、今後の展開等に向けて考察を行った。

キーワード 伐採木、六甲山、SDGs、カーボンニュートラル

1. はじめに

六甲山地は、兵庫県神戸市から兵庫県宝塚市までを東西に横断する標高約931m、延長約30kmの連山であり、瀬戸内海国立公園の一部に指定されている。江戸時代に過度な伐採が進みはげ山となった六甲山地は、明治以降、兵庫県による大規模な植林により緑を取り戻し、現在に至るまで砂防工事やグリーンベルト整備事業により緑を保っている。しかしながら、地球温暖化による気候変動により、降水量の増加や局地的豪雨の頻発化が全国的に見られ、六甲山地においても災害発生の危険度は増していることから、国土強靱化に向け、今後も砂防施設の整備を進めていく必要がある。

砂防施設の整備を行ううえで、樹木の伐採は避けることが出来ず、従来は建設副産物として再資源化施設に持ち込み有償による処分を実施してきたが、SDGsに対応するため、伐採木の有効活用が課題となっている。この様な状況を踏まえた六甲砂防事務所における取り組み事例を以下のとおり紹介する。



写真-1 六甲山の山々

2. バイオマス事業者への無償提供

バイオマス発電とは木くず・生ゴミ・動物の糞などの生物資源を活用する火力発電の一種であり、再生可能エネルギーとして注目を集めている。六甲砂防事務所では、木材加工製品に活用できない枝葉などをバイオマス発電事業者へ提供することにより、カーボンニュートラル寄与するとともに、処分費の削減に取り組もうと考えている。



図-1 カーボンニュートラルへの貢献サイクル

(1) 2024年度の取組について

2024年度は、近隣のバイオマス発電事業者に聞き取りを行い、伐採木の運搬費を事業者で負担頂き引き取りが可能との回答を頂いた事業者へ試験的に伐採木を無償で

提供した。

2024年度に提供した枝葉等は約467m³であり、産業廃棄物処理とした場合に要する費用は約460万円であるため、引渡し場所となる鶴甲資材置き場までの運搬の費用を除いた約400万円の経費削減となった。

但し、現時点では現地立会いや調整等に職員が2人・日携わっているが、この人件費を差し引いてもその経費削減効果は大きなものといえる。

なお、CO₂削減については、従来より再資源化施設へ搬入していたことからバイオマス発電事業者への提供を行ったことによる効果は見込んでいない。



写真-2 バイオマス引き渡しの木材

(2) 2025年度における対応について

2025年度は、バイオマス発電所が新たに稼働したとの情報も入手しており、複数の引取先が確認されていることから、枝葉等の伐採木提供について、公募を行い引取先の選定を行うこととしている。

3. こうべ森と木のプラットフォームの活用

2023年7月11日、神戸市が「こうべ森と木のプラットフォーム」（以下、「プラットフォーム」という）を設立した。本プラットフォームは、地域の財産である森林を育み、活用し、次世代へと繋いでいくことを目的に公民共創の場として設立された。

六甲砂防事務所はプラットフォームの設立趣旨に賛同し、砂防施設の整備に伴い発生する木材をプラットフォームを活用して有効利用して頂くこととした。



写真-3 神戸の森とまちがつながるフォーラム

(1) プラットフォームの概要

プラットフォームでは、主に以下に示す4つの取り組みを行っている。

a) 地域の森林を育む

地域の森林を守り、育むため、森林所有者をサポート。森林整備のメリットと負担について、これまでの事業例や木材活用の可能性について提案する。

b) 関わり創出

森林に関わる機会を創出し、森林を育み、森林循環に貢献する担い手育成を行う。

c) ストック・流通支援

市内の製造・加工事業者等と連携し、森林整備等で発生した針葉樹、広葉樹の丸太や一次製材品のストック・流通支援、川上・川中・川下の情報交換を促進する。

d) 木材を活かす

公共建築物、市内建築物、家具等へ積極的に地域産材を活用。ただ使うだけでなく、森林の価値を高める木材活用に取り組む。また、木材活用の担い手を育成する。

この4つの取り組みを主に、様々なイベントを開催している。



写真-4 木のマルシェ開催のようす

(2) プラットフォームを活用した売払い

プラットフォームでは上記に示したとおり、「木材を活かす」という目的があり、神戸市では市内産の木材のブランド化も目指している。特に、砂防工事で搬出される広葉樹については、建築用材としてはあまり活用されないが、家具や小物といった木製品では一定の需要があるとのことで幹部分についてはプラットフォームを活用

して売払いを試行的に行うこととした。

(3) 売払い方法等について

売払いを行うにあたっては、大量の木材を仮置きできるヤードの確保、伐採木の市場価値の把握といった課題があったが、ヤードについては、プラットフォームにおいて無償で利用できる場所を2箇所提供頂いたことで確保でき、市場価値については、プラットフォームに加盟している複数の事業者から見積もり徴収することで算定を行った。

2024年度に売払いを実施した木材は計651本であり、規格はおおよそ長さ65cm、直径25cm程度のもので、売却額は9,240円であった。産業廃棄物処理とした場合に要する費用は20万円であるため、神戸市森林植物園までの運搬費を除いた18万円の経費削減となった。

但し、バイオマスへの提供と同じく、現時点では現地立会いや調整等に職員が2人・日携わっているため、経費削減効果は大きなものではないが、焼却を行わないため、CO2削減に対しては大きな効果があったものと考ええる。

木工業者に売却された木材は、大阪市の小学校で図工の授業にて板材の元として丸太のサンプルを提供され、その他については現在、乾燥させている段階とのことであった。



写真-5 乾燥中の木材

今回売払いを行った木材は規格が小さいため、額縁や丸いすなどの小物木工品に加工する予定とのことであった。参考に過去に神戸市産材で加工した物の写真をいただいた。

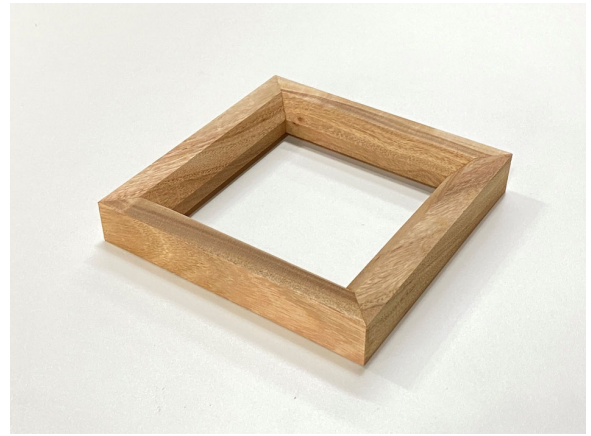


写真-6 神戸市産材で作成した額縁

(3) 2025年度の展開について

2024年度に売り払った木材は斜面对策工事にて発生した木材であり、モノレールによる運搬であったことから、玉切りを行う必要があり、小さくなってしまったが、2025年度は、プラットフォームの意見や神戸市森林官の助言から伐採位置や長さを決め、材木として活用しやすい材とする予定である。そうすることにより、入札価格も上がり経費削減に寄与するとともに、入札参加者の増加や伐採材の有効活用に繋がることが期待される。

5. 課題と解決策

伐採木の有効活用には以下のような課題が存在する。

(1) 経済的課題

伐採から売払い手続きまで時間を要しているため、風雨にさらされ木材が劣化し、商品価値が低下することから、手続き等の短縮を図る必要がある。

a) 解決策

事務所内で伐採から売り払いまでの手続きをマニュアル化し、プラットフォームや各機関と協力を図り伐採予定本数を基に早急に手続きを進める。

(2) 社会的課題

地域住民や企業による地域発生木材活用の認知度が十分でないため、需要が少なく、入札額も低くなっている。

a) 解決策

プラットフォームにて開催しているイベント等で六甲山材を認知していただき、将来的にはブランド化を目指すとともに、材木として活用しやすいかたちで安定手供給を行うことで全国にむけ六甲山材の普及を目指す。

(3) 技術的課題

斜面对策の施工現場ではモノレール運搬が一般的であり、伐採木をそのまま搬出する手段が無いため、玉切り

を行う必要があり、長尺の木材を供給できない。

a)解決策

官民のニーズとシーズのマッチンを行うなど、斜面对策工事における新たな運搬方法を研究・開発する。

(4) 売り払い時等感じた実態の課題

施工現場から運搬した65cm程度の玉切りされた木材では活用用途が限られ、需要が高くない。

a)解決策

短い木材は木工用、比較的長い木材は板材や加工用として用途を明記することにより幅広く入札参加者を公募する。

年度の活動実績において、産業廃棄物であった伐採木を無償配布や売払いにより有効活用できることが分かり、SDGsや経済効果の観点から、大きな効果を見込める可能性が確認できた。今後は規模拡大や効率化により、持続的に木材利用が行われるよう関係機関と協力しながら検討を進めていく所存である。

謝辞：本稿を作成するにあたり、こうべ森と木のプラットフォーム、六甲砂防事務所白髭副所長様、工務課長川原崎様、福井河川国道事務所敦賀国道維持出張所水内係長様、六甲砂防事務所の皆様方にご協力、助言を賜りました。皆様のご支援に心より感謝いたします。

6. おわりに

持続可能な森林管理と地域資源の活用を進めるためには、行政、企業、住民の協働が必要不可欠である。2024

参考文献

1) 土木学会：土木学会論文集の完全版下印刷用和文原稿作成

道路空間を活用したEV路上カーシェアリング 社会実験における効果検証（中間報告）

中世古 蓮汰¹ 石田 翔吾²

¹浪速国道事務所 計画課（〒651-0082 兵庫県神戸市中央区小野浜町7-30）

²大阪国道事務所 地域調整課（〒536-0004 大阪府大阪市城東区今福西2丁目12-35）

大阪国道事務所は、道路分野におけるカーボンニュートラルの取り組みとして、全国初となる道路空間を活用したEV車両によるカーシェアリング社会実験を実施している。本稿では、社会実験内容と効果検証結果について中間報告する。

キーワード 道路空間の有効活用、カーボンニュートラル、カーシェアリング、GX、MX

1. はじめに

(1) 背景

道路は我が国の経済成長を支え安全安心な暮らしを確保する重要な社会基盤であるが、その一方国内CO₂排出量の約18%を占めており、道路管理者としても脱炭素に関わる役割と責任を積極的に果たしていく必要がある。その中で、自動車による輸送を代替できる部分については、鉄道等の低炭素な公共交通への転換の促進が求められている。また、自動車による移動が必要な場面においても、ガソリン車による利用から、環境に配慮した自動車であるEV車両の利用が注目されている。さらに近年は自動車を個人で保有せず、必要な時に自動車を借りて利用する「カーシェアリング」が広く普及しているところである。

以上の背景を念頭に、環境に配慮しつつ公共交通による移動を補完する役割を担える手段として、EV車両を用いたカーシェアリングの有効性について検証するための実証実験を実施している。また、EV車両を借りる拠点であるカーシェアリングステーションは、公共交通とのアクセス性に注目し、鉄道駅付近の国道の路上に設置した。本稿では「京阪神都市圏での水平展開」を見据えた「道路空間を活用したEV路上カーシェアリング社会実験」の取り組みについて報告する。

(2) 社会実験の目的

本社会実験は、JR大阪駅など鉄道駅周辺の国道1号及び国道2号の路上にEVカーシェアリングステーション（以降、ステーションはSTとする）を5箇所（①大阪西梅田、②福島出入橋西、③福島浄正橋東、④福島浄正橋西、⑤東天満）設置し、鉄道とEVカーシェアリングの組合せによるCO₂排出量の削減や、交通利便性の向上、災害時の有効活用等の検証を行うことを目的とする。

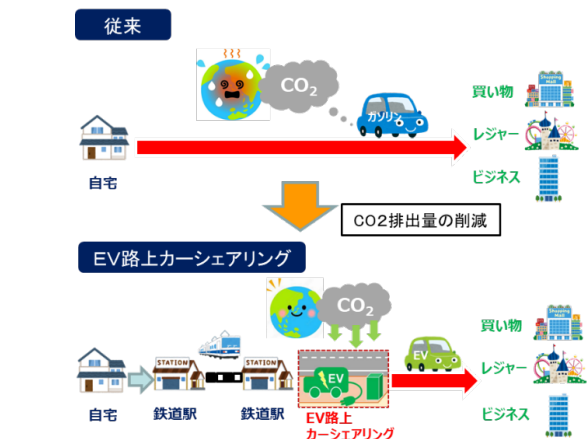


図1 鉄道とEV路上カーシェアリングの組合せ



図2 ST位置図

正橋西、⑤東天満）設置し、鉄道とEVカーシェアリングの組合せによるCO₂排出量の削減や、交通利便性の向上、災害時の有効活用等の検証を行うことを目的とする。

(3) 期待する効果

自宅等から目的地（買い物、レジャー、ビジネス）への移動に自家用車（ガソリン車）を利用していた方が、鉄道とEV路上カーシェアリングを組み合わせた移動

に転換することでCO₂排出量の削減（GX）が期待できる。また、EV路上カーシェアリングという新たな移動手段の提供により、利用者が交通手段を選択しやすい環境を構築すること（MX）で、交通利便性の向上が期待される。

(4) 実験概要

大阪国道事務所は、道路分野におけるカーボンニュートラルの取り組みとして、「道路空間を活用したEV路上カーシェアリング社会実験」（以下、社会実験）を令和6年10月1日より開始した。なお、EV車両を活用した路上カーシェアリングは全国初の取り組みである。

- 実験期間：令和6年10月1日～令和7年12月末（予定）
※実験期間は、延長する場合がある。
- 実験箇所：大阪府大阪市北区梅田・東天満・福島区福島（国道12号の道路上5箇所）
- 運営車両：日産サクラ（EV車）
- 運営方式：ラウンドトリップ方式（車を借りた場所と返す場所が同じ方式）
- 運営時間：0:00～24:00（24時間）
- 実験主体：道路空間を活用したEV路上カーシェアリング社会実験協議会
- 実験参加者：タイムズモビリティ株式会社
- カーシェアリング利用方法：
タイムズモビリティ株式会社が運用する「タイムズカー」にて予約し、利用。

図 3 実験概要

(5) ST概要

カーシェア車両利用者の安全性・利便性だけでなく、自転車や歩行者等の他交通参加者の安全性等を確保することを踏まえて、STを設置した。

a) 道路空間の活用・設置位置について

歩道空間内の植栽等を撤去して、STのスペースを確保する計画とした。なお、自転車・歩行者の動線を考慮し、歩道内の照明柱を一部撤去することで、自転車・歩行者が安全にすれ違うことができる空間を確保した。

また、マウントアップ歩道を切り下げし、ST空間を確保することから、地下埋設物の回避が課題となった。

そこで、出来るだけ地下埋設物の影響がない設置位置としたが、一部マンホールが影響する箇所に設置する計画となったが、取り外しが可能な防護柵を設置し、維持管理作業に支障が出ないように留意した。

表 1 ST 内設置物

設置目的	設置物	
歩行者の安全確保	防護柵	STと歩道空間を物理的に分離
	門扉	
ST内の車両の安全確保	路面標示・縁石鋸	走行軌跡や停車位置を安定
	ミラー	後方から来る車両の確認
	チェーンゲート（15mスパン）	支柱と車両の接触を避けるため、ST端部のみに支柱を設置
ST出入り車両の周知	看板	周辺を通行する車両に対して、STを出入りする車両の存在を周知

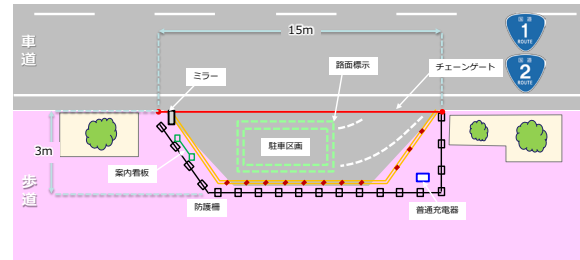


図 4 ST 設置イメージ



図 5 ST 外観

b) STの大きさについて

STを利用する車両の走行軌跡を考慮して、車道側の出入口15m確保した。なお、設計車両は乗用車が利用することを想定し、道路構造令で示される小型自動車を採用した。

c) STチェーンゲートについて

カーシェアを利用してSTに駐車車両がない場合に、他の車両が誤って駐車しない様、チェーンゲートを設置した。チェーンゲートは、車両内に設置したリモコンにより開き、車両が入出庫後は、自動的に閉まる仕様とした。

なお、他地域においてチェーンゲートの支柱を中央部に設置されていたが、車両との接触を回避するため、中央部に支柱を設置しない15mスパンのチェーンゲートを採用した。

d) 充電器について

一般的にEV車両の充電には、急速充電器と普通充電器が存在するが、カーシェアでの運用ではケーブルを差したままの時間が長いことを想定すると、急速充電

器ではバッテリーへの負荷が懸念されることを踏まえ、普通充電器を採用することとした。

なお、充電器のコードが道路敷地内にはみ出さないことに留意するとともに、車両利用者や車両の安全性を考慮して、通常の手動で巻きつける充電器ではなく、自動で巻きつけることができる充電器を採用した。

また、自動で巻きつける充電器のコード延長に限りがあることから、車両の充電プラグが近い車両後方に充電器を設置した。

e) ミラーについて

車両がSTから出庫する際に、安全・円滑に一般道へ合流するため、一般道を走行する車両の状況が、確認出来るように、ST先方にミラーを設置した。

2. 社会実験の運営体制

(1) 実験参加者

社会実験の実験参加者は、公募の結果よりタイムズモビリティ株式会社（以下、実験参加者）が選定された。実験参加者はカーシェアリングサービス「タイムズカー」を運営している。実験参加者はEV車両を用意し保守点検及び清掃を行うほか、カーシェアの運営管理（利用者対応業務、利用料金等の徴収等）及び充電設備・チェンゲートの電気料金の支払いを行っている。

(2) 車両

実験用に日産サクラ（EV車）5台を、5箇所のSTに各1台配備した。サクラは定員4名の軽自動車である。

(3) 協議会

「道路空間を活用したEV路上カーシェアリング社会実験協議会」で、社会実験の運営・効果検証を行っている²⁾。

国土交通省近畿地方整備局道路部・大阪国道事務所、大阪府警察本部、大阪市環境局・計画調整局・建設局、梅田2丁目振興町会、西阪神桜橋商店会、福島連合町会、東天満1・2丁目振興町会、実験参加者

図 6 協議会構成組織

なお、大阪国道事務所地域調整課が事務局となり、実験参加者の協力のもと、社会実験の利用実績報告、安全性及び車道の走行円滑性への影響検証（車両の出入りに伴う交通支障）、道路上へのST設置による利用実態の変化と効果検証を実施した。

3. 効果検証内容

(1) 効果検証の実施概要

効果検証として、表 2 に示す①～⑥の6つの視点で分析を行った。各分析項目に関する調査手法を表に示す。具体的には、アンケート調査、インタビュー調査、ビデオ調査、ETC2.0調査、実験参加者提供データを組み合わせながら効果検証を行った。

表 2 効果検証項目

分析等の視点	手法
①利用者属性・行動特性等の把握	・アンケート調査 ・実験参加者提供データ
②カーボンニュートラル、交通利便性向上の機能（公共交通機関との連携）	・アンケート調査 ・実験参加者提供データ
③道路上へ設置することの有効性	・アンケート調査 ・実験参加者提供データ
④STの安全性・快適性	・アンケート調査 ・インタビュー調査 ・ビデオ調査 ・ETC2.0調査
⑤STに設置した設備・施設等の妥当性	・アンケート調査
⑥利用者の拡大、路上STの継続性、災害時の活用	・アンケート調査 ・インタビュー調査 ・実験参加者提供データ

(2) 調査方法

a) アンケート調査

EV路上カーシェアリング利用者、沿道利用者等を対象に、3つの手法でアンケート調査を実施した（表 3）

表 3 アンケート調査概要

調査方法	調査対象	調査手法	票数 (R7.3.31時点)
現地 QRコード	EV路上カーシェアリング利用者 または 沿道利用者	STに設置したQRコードを読み取り	67票
タイムズ会員 へのメール配信	EV路上カーシェアリング利用者	1か月に1回メール配信（利用の翌月に配信）	40票
	タイムズカーシェア会員	3か月に1回、タイムズカーシェア会員メールマガジンで配信	2,918票 ・1回目 (R6.10.16) : 1,253票 ・2回目 (R7.1.15) : 1,665票
一般の方への WEBアンケート	京阪神都市圏在住の方	3か月に1回、WEBモニターへメール配信	600票 ・1回目 (R6.10.25) : 300票 ・2回目 (R7.1.24) : 300票

b) インタビュー調査

EV路上カーシェアリング利用者を対象に、インタビュー調査を実施した（表 4）。

表 4 インタビュー調査概要

調査項目	調査対象	調査時期	調査手法	票数
安全性 評価	EV路上カーシェアリング利用者	平常時	EV路上カーシェアリングの返却時にお声掛け	12票 ・1回目調査 (R6.12.13・R6.12.14) : 4票 ・2回目調査 (R7.3.19・R7.3.22) : 8票
災害時 利用		災害時 (鉄道運休時等)	災害発生後に利用者にヒアリング予定	・今後実施予定

c) ビデオ調査

ST内にビデオカメラを設置し、以下の3項目について検証した(図7)。

- a. ST内の車両挙動
- b. ST入出庫に伴う車道の走行性の変化
- c. 歩行者動線の阻害有無

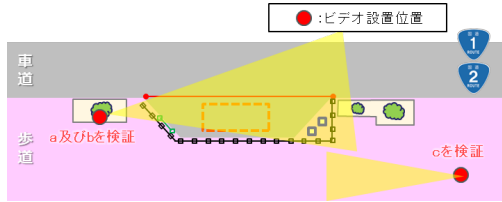


図7 ビデオ調査(設置イメージ・撮影範囲)

d) ETC2.0調査

ETC2.0プローブデータを活用し、旅行速度、急挙動発生状況からST入出庫に伴う車道の走行性の変化を評価した。なお分析期間は、令和6年10月～11月とした。

e) 実験参加者提供データ

実験参加事業者からの提供データ(利用者数、移動履歴、移動距離等)を用いて、利用実態等を分析した。なお、分析期間は、令和6年10月～令和7年3月とした。

4. 効果検証の中間報告

6つの視点別に検証結果を示す。

(1) 視点①利用者属性・行動特性等の把握

令和6年10月～令和7年3月の利用回数は、合計1,042回であった。各STにおいて概ね1日あたり1～2回程度の利用となっている。箇所別では、箇所③(福島浄正橋東)が最も多く利用されている。なお、2025年3月に箇所③の利用回数の減少は、2025年3月中旬より発生した充電器損傷による社会実験中断が原因である(社会実験は2025年4月24日より再開)(図8)。

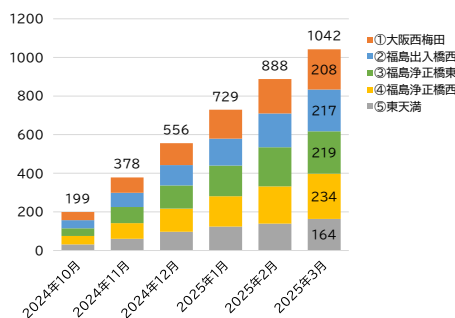


図8 累計利用数(月別推移)

(2) 視点②カーボンニュートラル、交通利便性向上の機能(公共交通機関との連携)

EV路上カーシェアリング利用者へのアンケートより、EV路上カーシェアリング利用者の13.8%は、社会実験前の自動車(カーシェアまたは自家用車)利用から、社会実験中にEV路上カーシェアリングと鉄道を組み合わせた移動に転換していることを確認した(図9)。

また、ガソリン車からEV車に転換したことによるCO₂削減量を試算した結果は10.6t/年、自動車から鉄道へ交通手段を変更したことによるCO₂削減量の試算結果は0.15t/年となった。上記を合計して、本社会実験によるCO₂削減量の試算結果は約10.8t/年となった。このCO₂削減量は、ガソリン車で約90,000kmを走行した場合のCO₂排出量に相当する(ガソリン車利用時のCO₂排出量を0.12kg-CO₂/kmとして換算)(図10)。

さらに、「EV路上カーシェアリングの普及により新たな交通手段の選択肢が増える」との回答が80.4%となり、新たな移動手段の提供により、利用者が交通手段を選択しやすい環境構築が期待される(図11)。

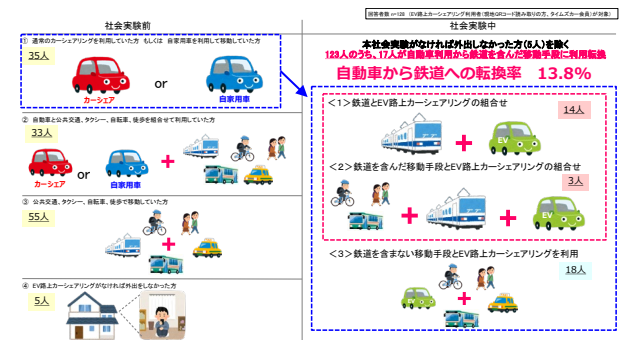


図9 自動車からの転換率

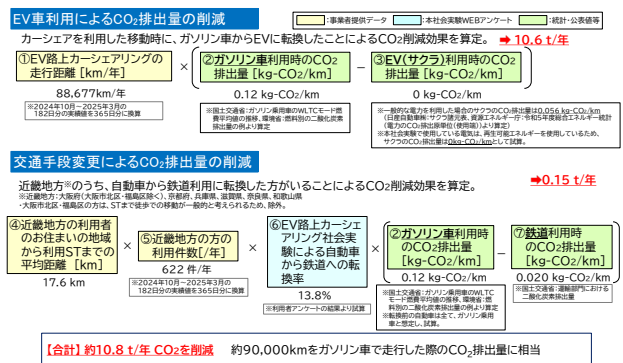


図10 CO₂削減量の試算

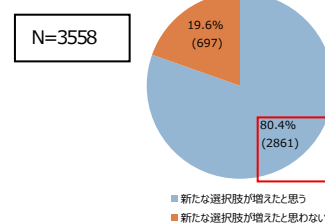


図11 EV路上カーシェア普及による交通手段の新たな選択肢

(3) 視点③道路上へ設置することの有効性

「STへの近接が望ましい施設」は、「駅」との回答が86.8%で最多であった。本社会実験で設置したSTは全箇所駅に近接しており、公共交通との乗継等の利便性確保が重要であることが示された(図12)。

「一般的なカーシェアリングではなく、EV路上カーシェアリングを選択した理由」では、「EV車を利用できるから」という回答が最多となったことから、環境負荷軽減を意識している利用者のニーズを満たしていることが確認された。次いで「幹線道路へのアクセスが良いから」との回答が32.8%となり、道路上に設置することのメリットが確認された(図13)。

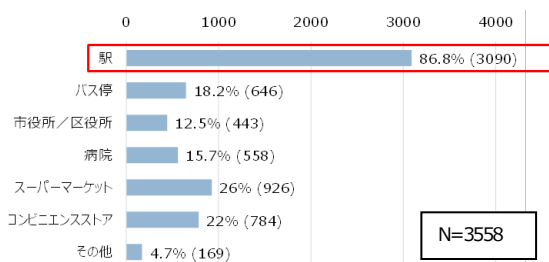


図12 STへの近接が望ましい施設(複数回答)

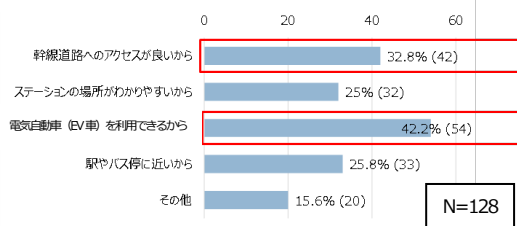


図13 一般的なカーシェアリングではなく、EV路上カーシェアリングを選択した理由(複数回答)

(4) 視点④STの安全性・快適性

a) ST入出庫時の安全性

安全にSTの入出庫ができたかを利用者へのインタビューにより調査したところ、回答者12名中2名がヒヤリ経験があったと回答した。具体的には路上駐車車両の影響に関する意見や、夜間が昼間と比べて視界不良であることが起因して課題があるとの意見であった(図14)。

- ・路上駐車があって、入りにくいときがある
- ・夜間だったので特に入庫時は後続車に追突されないか怖かった。入庫時に、後続車や車道を走る自転車が気になり何度もバックミラーを見た

図14 ヒヤリの内容

b) 国道を走行している車両への影響

ST付近に設置したビデオカメラより、STへのカーシェア車両入出庫時にステーション側(第一車線)を走行する車両の挙動を分析した。調査結果より、特に返却時に後続車がブレーキを踏み車線内の右側を走行する挙動が22.4%(撮影期間中に返却があった76件中17件)で発生していることを確認した。これは、STに車両を返却する際、車内にあるリモコンを用いてチェーンゲート进行操作するために路上で停止することが要因と考えられる(図15)。

昼間12時間の旅行速度平均値をST入出庫がある時間帯・ない時間帯別で集計・比較したところ、全てのSTで速度低下なし(ST入出庫なしと比較して、ST入出庫ありの旅行速度の低下が1km/h以下)との結果となった。この結果より、EV路上カーシェアリングST設置による交通渋滞への影響は確認されない(図16)。

昼間12時間の旅行速度平均値をST入出庫がある時間帯・ない時間帯別で集計・比較したところ、全てのSTで速度低下なし(ST入出庫なしと比較して、ST入出庫ありの旅行速度の低下が1km/h以下)との結果となった。この結果より、EV路上カーシェアリングST設置による交通渋滞への影響は確認されない(図16)。

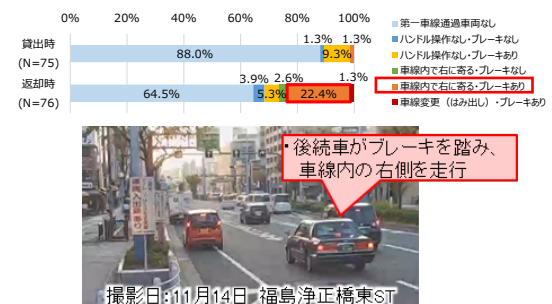


図15 車道ビデオ調査

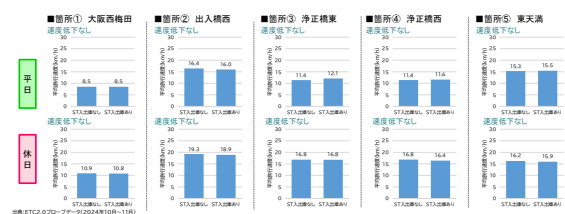


図16 ST入出庫がある場合・ない場合の平均旅行速度の比較

c) 歩行者・自転車への影響

ビデオ調査より、STに設置に伴う歩道幅員の縮小が、歩行者や自転車の通行に及ぼす影響について確認した。調査結果により、歩行者・自転車が対向者回避等のために減速・停止した回数は、④福島浄正橋西STにて大幅に増加したことが確認できた(図17)。

この理由として、④浄正橋西STがコンビニ前に設置されており、コンビニ出入口付近で立ち止まる人によって歩道がふさがることによって歩行者・自転車の通行を阻害する状況が発生していることが確認された(図18)。

対策として自転車速度の注意喚起路面シールを設置し、歩行者と自転車の衝突防止を図った(図19)。

(5) 視点⑤STに設置した設備・施設等の妥当性

利用者アンケートの結果より、充電器、チェーンゲートともに肯定的な意見が多数を占めていることから、

ST内の設備については利便性の高いものになっていると考えられる(図20)。

(6) 視点⑥利用者の拡大, 路上STの継続性, 災害時の活用

EV路上カーシェアリングの利用者拡大に向けた取り組み方針の検討を目的として, EV路上カーシェアリングSTを知ったきっかけ及び希望する返却方式を調査した。本社会実験のSTを知ったきっかけは, 「タイムズカーアプリで表示されたこと」, 「現地の車両や案内看板を見たこと」の回答割合が高い。周知方法として, ST付近を通行しない方にはタイムズカーアプリが, ST付近を通行する方には看板が有効であることが推察される(図21)。

また, 災害時(鉄道運休時)にタクシーの代替手段でEV路上カーシェアリングの利用を想定しており, 災害発生後に利用者にヒアリングを予定しており, 災害時の活用については今後検証予定である。

5. まとめ

本社会実験の狙いであった鉄道とEV路上カーシェアの組み合わせによるCO₂排出の削減(GX)や, 交通利便性の向上について, 公共交通への転換状況の確認やCO₂排出量の試算を行い, 一定の効果が発現している傾向であることを確認した。また, これまでに得られたアンケートにおいても, EV路上カーシェアリングが新たな移動手段として普及し, 利用者の交通手段の選択肢が増えることで, 利用者が多様な交通手段を選択しやすい環境構築(MX)の可能性もあることも期待できる結果となった。

一方で, STの安全性に関して, 路上駐車対策, 夜間の安全性確保, チェーンゲート操作のための一旦停止等, 運営上の課題も確認した。

引き続き, 課題の改善や本社会実験で得られるデータをもとに安全性を分析のうえ, 評価していくことが必要と考える。

今後の利用実績や特性も踏まえながら, 今後のEV路上カーシェアのあり方についても議論を深めていくことが必要となってくる。

参考文献

1) 国土交通省: 道路分野の脱炭素化政策集Ver1.0

(<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/utilization/datutansoka/collv1.pdf>)

2) 道路空間を活用したEV路上カーシェアリング社会実験ホームページ

(<https://www.kkr.mlit.go.jp/osaka/works/jikken/carsharing/>)

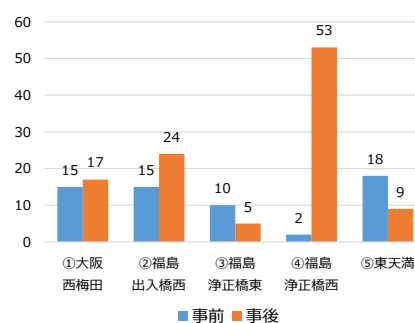


図17 歩行者・自転車等が対向者回避のために減速・停止した回数(ST設置前後の比較)



図18 ④福島浄正橋西ST付近の歩道の様子



図19 ④浄正橋西ST付近の注意喚起シール

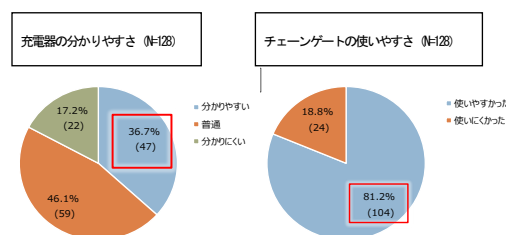


図20 充電器, チェーンゲートの評価

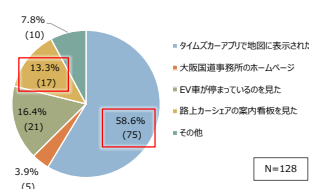


図21 STを知ったきっかけ

高安受水場における脱炭素化を目指して ー公民連携による小水力発電の実装ー

林 和志¹

¹大阪広域水道企業団 八尾水道センター 施設整備課 (〒581-0007 大阪府八尾市光南町1-4-30)

高安受水場において公民連携で小水力発電を実装している。本稿では、水撃圧発生時の既設送水管に対する安全性の検証や実装後の安定受水継続のためのシステム構築、環境負荷低減への妥当性評価に加え、更なる脱炭素化を見据えた取組みを報告する。

キーワード 2050 年ネット・ゼロ、公民連携、小水力発電、高安受水場他脱炭素化事業協定書

1. はじめに

2015年に合意されたパリ協定では「産業革命前からの世界の平均気温上昇を2℃未満とし、1.5℃未満に抑える努力をする」という国際的目標が採択された。これを達成するため、我が国では、地球温暖化対策計画¹⁾において2050年ネット・ゼロを目標としている。その中で、水道分野は、2030年度までに21.6万t-CO₂（2013年度比約5%）削減を目標としている。そのためには、省エネ施策に加え、再エネ普及によるCO₂の正味削減が求められている。しかし、当センターでは老朽化施設の更新・耐震化需要の増加と料金収入減少で再エネを導入する財源の余裕はなかった。そこで、民間事業者の経営力と技術的ノウハウを活用し、メンテナンスを含めた公民連携での小水力発電実装に向け、2021年度にプロポーザル方式で民間事業者を選定した。選定後、公民で小水力発電システムの設計を行い、2022年度から20年間の場所貸して小水力発電を実装している。本稿では、小水力

発電システムの設計段階で検証した水撃圧発生時の既設送水管への安全性、安定受水継続のためのシステム構築、小水力発電量の計画値と実績値の比較から環境負荷低減への妥当性について章立てする。さらに、今後の展開では、更なる脱炭素化の具体策を提示する。なお、本稿では「小水力発電」と「小水力発電システム」に区分している。ここで「小水力発電」は発電機能を有する設備のみとし「小水力発電システム」は発電設備に加え、受水に係る水理を含む機構に区別する。

2. 設計時における水撃圧に対する安全性の検証

図-1の系統図で示すように、当センターは、枚方市にある村野浄水場で浄水処理した水を全量受水している。村野浄水場から送水された浄水は、当センターの高安受水場で二系統で受水する。その際、受・配水池で大気解放していた受水時の圧力を小水力発電に活用する。ここで、小水力発電実装にあたり、水車が緊急停止した場合を想定する必要がある。水車が緊急停止すると、無拘束運転や水車電動弁の閉鎖により、水撃圧が発生する場合がある。水撃圧の発生は、管体変形や接手離脱に繋がるリスクがある。そのため、次節以降で、水撃圧発生時の既設送水管に対する安全性を、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説—設計「パイプライン9-2非定常的な水理現象の解析」²⁾に基づき検証する。

(1) 無拘束運転時の水撃圧

万一、停電や異常が生じると、水車は緊急停止する。緊急停止すると、系統連系規程に従い、小水力発電の解

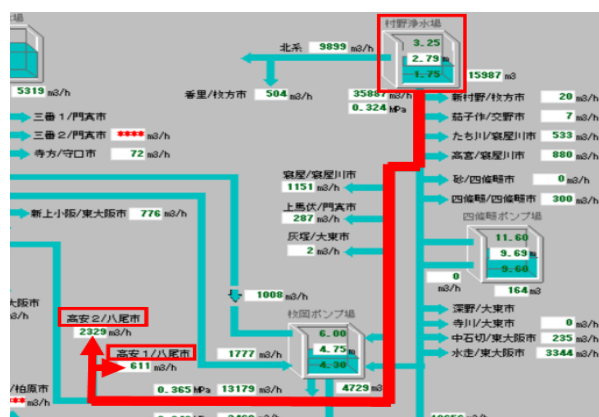


図-1 村野浄水場～高安受水場間系統図

列リレーは切り離される．これにより，水車は無拘束運転となり流量が減少する．このとき，流速も減少し，水圧は上昇する．水圧上昇による水撃圧で，村野浄水場と高安受水場間の送水管に破損リスクが生じる．そこで，受水圧力と無拘束運転時の水撃圧の水頭和を算出し，水頭和と最大静水圧の比較で送水管への安全性を検証する．まず，無拘束運転時の水撃圧 H_{max1} を求めるためにJoukowskiの式(1a)を用いる．

$$H_{max1} = -\frac{\alpha}{g}(V - V_0) \quad (1a)$$

ここで， H_{max1} は無拘束運転時の水撃圧， α は圧力伝搬速度， g は重力加速度， V は流量操作後の流速， V_0 は水車の流速である． V を求めるためには，異なる径の管を接続して布設されている送水管の等価配管径 D が必要となる． D は式(1b)を用い，2.085mと算出される．次に，無拘束運転時に流れる流量 Q を求める．75kWクラスの定格流量は，水車1基605 m^3/h （約0.1680 m^3/s ）である．高安受水場には写真（図-2）のように75 kWクラスの水車を4基設置しており，これを考慮すると，定格流量 Q_0 は0.6722 m^3/s となる．図-3の特性図から， Q は水車1基あたり0.0972 m^3/s であるため，4基分の Q は0.389 m^3/s となる．

$$D = \frac{(L_1 D_1 + \dots + L_n D_n)}{(L_1 + \dots + L_n)} \quad (1b)$$



図-2 高安受水場に設置の小水力発電（水車4基並列設置）

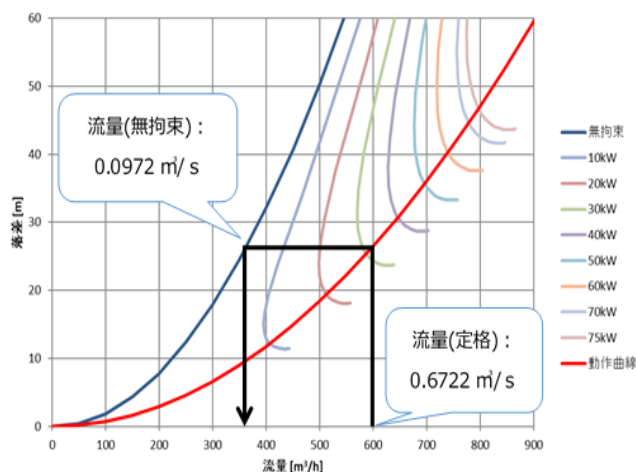


図-3 特性図（75kWクラス水車 200 J -575）

Q ， D を式(1c)に代入すると， V は0.114m/sとなる．

$$V = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}} \quad (1c)$$

これまで得られた数値から， V_0 は0.197m/sとなる．

$$V_0 = \frac{Q_0}{\frac{\pi D^2}{4}} \quad (1d)$$

次に圧力伝搬速度 α は，式(1e)から求められる．

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{\frac{W_0}{g} \left(\frac{1}{K} + \frac{C_1 D_n}{E t_n} \right)}} \quad (1e)$$

ここで， W_0 は水の単位体積重量， K は水の体積弾性係数， C_1 は埋設状況による係数， D_n は村野浄水場から高安受水場までの各送水管口径， E は配管材ヤング率， t_n は異なる径に基づく各送水管厚を表す．これら数値を式(1e)に当てはめると， α は1049.3m/sとなる．以上から，各数値を式(1a)に代入した結果， H_{max1} は8.87mとなる．受水圧力は，通年で概ね30.59m（約0.30MPa）である．浄水は村野浄水場からのポンプで圧送されているため，受水圧力を流量調整部静水圧 H_0 と同義とみなす．このとき， H_0 と H_{max1} との水頭和は，39.46m（約0.39MPa）となる．設計時に基準としていた水道施設設計指針2012³⁾において「給水管に分岐する箇所での配水管内の最大静水圧は，0.74MPaを超えない」と定めている．水頭和は，0.74MPa未満となるため，無拘束運転時の水撃圧に対し，既設送水管は安全である．

(2) 水車電動弁閉鎖時の水撃圧

水車無拘束状態での水車電動弁の閉鎖は，水圧上昇を招くことで，水撃圧が発生する場合がある．そこで，受水圧力と水車電動弁閉鎖時の水撃圧の水頭和を算出し，水頭和と最大静水圧の比較で送水管への安全性を検証する．まず，水車電動弁閉鎖時の水撃圧 H_{max2} を求めるためにAllieviの式(1f)を用いる．

$$H_{max2} = \left\{ \frac{K_a}{2} + \sqrt{K_a + \frac{K_a^2}{4}} \right\} H_0 \quad (1f)$$

K_a はAllieviの管路定数である． K_a は式(1g)から求める．

$$K_a = \left\{ \frac{L(V - V_0)}{g H_0 T_v} \right\}^2 \quad (1g)$$

L は等価配管長， V は流量操作後の流速， V_0 は水車の流速， g は重力加速度， H_0 は流量調整部静水圧， T_v は流量操作時間である． L は式(1h)から33,610mと算出される．

$$L = L_1 + \dots + \frac{L_n \pi D_{n-1}^2}{\pi D_n^2} \quad (1h)$$

水車電動弁全閉に要する時間は92sであるため，水車弁全閉時の T_v は92sである．また，水車電動弁が全閉になると， V は0 m/sとなる．これらを式(1g)に当てはめると， K_a は0.019となる．これを(1f)に代入すると， H_{max2} は4.54mとなる． H_0 と H_{max2} の水頭和は，35.13m（約0.34MPa<0.74MPa）となるため，水車電動弁閉鎖時の水撃圧に対し，既設送水管は安全である．

3. 安定受水継続のためのシステム構築

(1) 遠隔臨場での異常の早期発見とその対応

当センターおよび民間事業者は、発電量および流量をリアルタイムでクラウド監視している(図-4)。発電量または流量が低下すると、事前登録した端末にメールが自動通知される。このシステム構築により異常を早期発見する。また、民間事業者側では、水車電動弁の「異常リセット」「起動」「停止」の遠隔操作が可能となっている。これら遠隔臨場で安定受水を継続している。

(2) 既存設備と二系統受水の強みを活かした安定受水

小水力発電システムでは、受水管二系統のうち、小水力発電を通過する一系統は、流量固定となる。一方、小水力発電非通過の別系統は、流量が変更できる。たとえば、水車の緊急停止で水車弁が閉止すれば、通常なら二系統合計の流量は減少するが、このときに小水力発電非通過の既存設備の受水流量調整弁の開度を上げる。この開度調整は、監視制御システムの遠隔操作で行う(図-5)。このシステムで二系統合計の流量安定化を図る。また、将来予測される水需要減少にもこのシステムが有効に働く。上記2点のシステムが、安定受水継続のバックボーンとなっている。次章以降で、安定受水を基盤とした発電量、それに伴うCO₂削減効果について述べる。

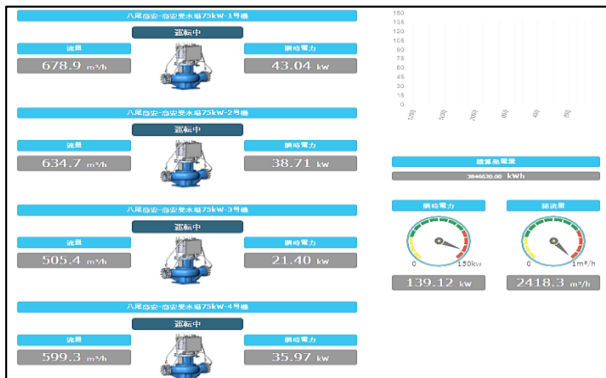


図-4 クラウド監視の画面

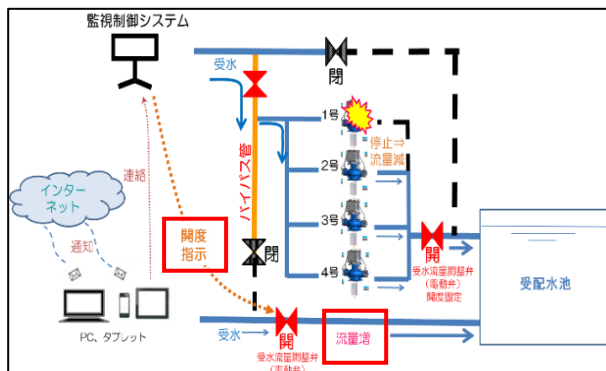


図-5 安定受水のメカニズム

4. データの収集

(1) データ収集の目的

データ収集の目的は、小水力発電によるCO₂削減効果の定量化である。以下の式のように発電出力は、流量と有効落差(本稿では受水圧力)で決定する。つまり、流量または有効落差が大きいほど発電出力は高くなる。

$$\text{発電出力 [kW]} = \text{流量 [m}^3/\text{s]} \cdot \text{有効落差 [m]} \cdot \text{効率} \cdot 9.8 \text{ (重力加速度)}$$

(2) 収集するデータの区分・種類

発電量の計画値と実績値を季節ごとに比較するため、収集するデータの区分は月単位とした。さらに、流量および発電量の関係を把握するため、収集するデータの種別は、小水力発電を通過する流量ならびに発電量とした。次章では、これらデータを基に発電量、流量、CO₂削減量の比較し、CO₂削減量を「見える化」している。

5. 小水力発電のCO₂削減効果

(1) 発電量およびCO₂削減量の計画値

小水力発電4基分の計画諸元を表-1にまとめた。計画発電出力は、4基で121.6 kW、また最大使用水量および受水圧力は、実績データを基にそれぞれ 0.744 m³/s、30.43 mと算出した。年間発電量は101万kWhを計画している。これに伴うCO₂削減量は、令和5年度エネルギーに関する年次報告(エネルギー白書2024)⁴⁾で公表されている2030年度の電力排出係数(0.000370 t-CO₂/kWh)を適用し、年間で374 tを見込んでいる。また、人口換算したCO₂削減量は、日本の温室効果ガス排出量データ⁵⁾で公表されている2023年の一人当たりCO₂排出量(7.95 tCO₂/人)を適用し、年間で47人分のCO₂を削減できると見込んでいる。

表-1 4基分の小水力発電の計画諸元

計画発電出力	121.6 kW
最大使用水量	0.744 m³/s
受水圧力	30.43 m
電圧	6600 V
水車形式	縦型インラインポンプ逆転水車
年間発電量	101万kWh
CO ₂ 削減量	374 t
人口換算したCO ₂ 削減量	47人分

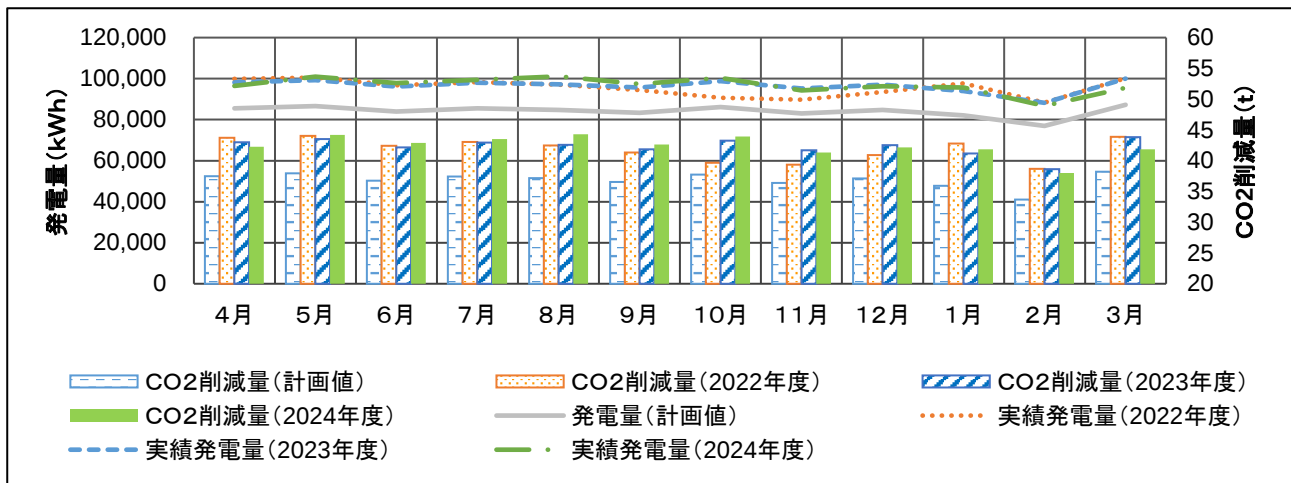


図-6 小水力発電量とCO₂削減量

表-2 小水力発電を通過する流量と小水力発電量，CO₂削減量の関係

	2022年度	2023年度	2024年度
小水力発電を通過する流量	20,260,020 m ³	20,819,700 m ³	20,858,250 m ³
小水力発電量	1,074,103 kWh	1,084,551 kWh	1,087,682 kWh
CO ₂ 削減量	397 t	401 t	402 t

(2) 計画値と実績値の比較

計画諸元の発電量ならびにCO₂削減量と、2022年度～2024年度の実績発電量ならびにCO₂削減量を月単位に区分，比較したグラフを図-6に示す。なお，実績発電量に基づくCO₂削減量は，計画値と同条件で比較するために，2030年度の電力排出係数（0.000370 t-CO₂/kWh）を適用する。また，表-2では図-6の「小水力発電量」および「CO₂削減量」のデータを年度単位とした上で「小水力発電を通過する流量」を項目に加え，各年度で比較している。次章で，これらを踏まえた分析と環境負荷低減への妥当性について考察する。

6. 考察

図-6から発電量およびCO₂削減量の実績値は，どの月も計画値を上回っている。また，表-2から流量が増えると，発電量も増加している。ここで，発電に必要な流量に注目する。流量は，天候や季節によって変動する。11月～2月の冬季ならびに梅雨時期（6月）は水需要減少に伴い，流量は低下する。一方，梅雨時期を除く春季から夏季（6月を除く3月～10月）は水需要増加に伴い，流量は増加する。これらを踏まえれば，図-6から流量と発電量の相関関係が推測され，さらに表-2がこの推測を裏付ける。通年で受水圧力は大きな変動がないため，流量が発電量に大きく影響していると考えられる。以上のことから，安定受水が安定した発電に帰結する。表-2から流量増加に伴い，CO₂削減

量は397t，401t，402tと増加している。2022年度からのCO₂削減量の累積値は1,200 tに上る。これは人口換算で，のべ150人分（7.95 t CO₂/人で算出）のCO₂削減量に相当することから，環境負荷低減への妥当性は一定評価できると考察する。

7. 今後の展開

脱炭素化を更に進めるため，小水力発電と同様にプロポーザル方式で民間事業者を選定し，当該事業者と2024年10月2日に「高安受水場他脱炭素化事業協定書」（以下「脱炭素化事業」という）を締結した。次節以降で脱炭素化事業の具体策を4点示す。

(1) 太陽光発電の実装

脱炭素化事業の1点目は，太陽光発電の実装である。設置予定の太陽光パネルの仕様を表-3に示す。高安受水場の受・配水池の上部には，太陽光パネル設置に適した約4,700m²の未利用空間がある。未利用資源活用の観点から，この空間ポテンシャルを活用することで，

表-3 受・配水池上部に設置予定の太陽光パネル仕様

種類	単結晶シリコン
質量	8.6 kg
寸法	W1762・D1134/H30
太陽電池合計容量	864枚・440W=380.16kW
太陽電池傾斜	5°

表-4 八尾水道センターの年間消費電力量（2024年度）（単位 kWh）

月	庁舎	龍華 配水場	高安 受水場	南部低区 配水池	北部低区 配水池	神立加圧 ポンプ場	高区 配水池	北部 制御所	南部 制御所	山畑 ポン プ場	合 計
4	12,582	79,760	443,729	12,916	1,221	850	808	279	206	718	553,069
5	12,790	82,979	453,032	13,113	1,282	913	908	330	215	728	566,290
6	14,119	84,361	450,917	12,251	1,227	769	799	281	208	714	565,646
7	19,508	96,673	482,128	13,547	1,283	915	1,255	271	188	682	616,450
8	19,116	97,690	470,873	14,265	1,330	975	1,407	328	207	801	606,992
9	17,168	92,695	456,101	13,371	1,264	841	1,128	280	214	685	583,747
10	14,876	85,776	464,473	13,660	1,305	889	885	280	194	690	583,028
11	13,723	77,162	450,181	13,127	1,291	964	880	329	228	781	558,666
12	18,435	80,557	471,417	13,445	1,460	989	980	270	187	663	588,403
1	19,355	80,111	461,741	13,446	1,357	754	748	337	219	835	578,903
2	18,450	73,086	416,331	11,285	1,163	782	763	279	198	671	523,008
3	17,058	81,523	456,737	11,894	1,404	790	746	269	185	621	571,227
合 計	197,180	1,012,373	5,477,660	156,320	15,587	10,431	11,307	3,533	2,449	8,589	6,895,429

いわゆるメガソーラーのような森林破壊、土砂災害、景観障害の社会問題の発生を回避する。受・配水池上部に設置予定の864枚のパネル重量は、構造計算により耐荷重に問題のない結果を得ている。設置要件は耐久性、耐震性、耐風水害性を最優先としている。実装後は、年間で44万kWhの太陽光発電量を見込んでいる。

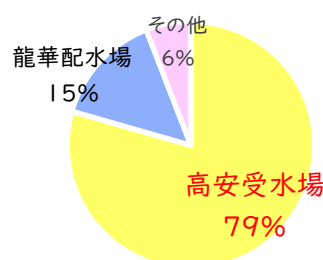


図-7 八尾水道センターの年間消費電力量比率（2024年度）

(2) 電源を特定した地産地消電源の実現

脱炭素化事業の2点目は、小水力発電と太陽光発電を合わせた地産地消電源の実現である。高安受水場に電源を特定化し、小水力・太陽光発電量（計画値145万kWh）を高安受水場の電力消費に充てる。現状では、小水力発電で発電された電力は送電網を経て、不特定の家庭や事業所で利用されている。これを今後は、高安受水場の電力消費に充てることで、小水力・太陽光発電のマイクログリッド化を図る。

(3) 非化石価値付電力の供給

脱炭素化事業の3点目は、非化石価値付電力の供給である。前節のマイクログリッドでの発電量145万kWhに対し、表-4の当センターの2024年度の消費電力量から高安受水場の年間消費電力量は、約547万kWhであることがわかる。つまり、高安受水場の地産電力比率は26%となる。一方、残りの74%は、従来の化石燃料由来の電力供給となる。そこで、この74%の供給電力を対象に、脱炭素化事業で選定さ

れた民間事業者が、小売電気事業者の登録を受けた上で、日本卸電力取引所（JEPX）の証書付きの非化石電力を調達する。これを高安受水場に供給することで、脱炭素100%を実現する。なお、JEPXは日本で唯一、電力を売買できる市場である。また、図-7の当センターの2024年度の消費電力量比率から高安受水場の年間消費電力量は、当センター全体の年間消費電力量の79%を占めている。このため、高安受水場の脱炭素化は、当センターの脱炭素化への大きな一歩となる。

(4) 定置型蓄電池の設置

脱炭素化事業の4点目は、定置型蓄電池の設置である。定置型蓄電池の出力は、三相三線200 V、スペック814 kWhを有しており、太陽光発電で発電した電気を蓄える。これにより、夕方の電力需要増加



図-8 脱炭素化事業総括

時の調整電源や夏季・冬季のデマンドレスポンス（DR）の実効性を高める。DRは、効率的なエネルギー利用に資する取組みである。さらに、定置型蓄電池は、非常時の防災用電源を確保する付加価値もある。ここで、4点の脱炭素化事業を図-8にまとめる。脱炭素化事業で年間2,000t（0.000370t-CO₂/kWhで算出）のCO₂削減効果が得られる。年間2,000tは、従来の小水力発電のみのCO₂削減量374tと比較すると、約5.3倍に相当する。加えて、龍華配水場においても高安受水場と同様の内容で脱炭素化を検討している。実現すれば、当センターの90%以上の消費電力量（約650万kWh）の脱炭素が図れ、年間2,400tのCO₂削減に貢献できる。これを人口換算すると300人分（7.95t CO₂/人で算出）のCO₂削減量に相当し、2050年ネットゼロの一助となる。

8. おわりに

本稿では、設計時における水撃圧に対する安全性の検証や安定受水継続のためのシステム構築、「小水力発電量とCO₂削減量」の二軸管理による「見える化」で環境負荷低減への妥当性を評価した。また、今後の展開に脱炭素化事業4点を述べた。これら成果は、公民連携で達成できたことである。今後、民間事業者とのパートナーシップをさらに深化することで、更なる脱炭素化が期待できる。最後に、2025年2月に閣議決定されたエネルギー基本計画⁶⁾では、CO₂削減量のロードマップに2013年度比で2030年46%減、2035年60%減、2040年73%減、2050年ネット・ゼロが示された。加えて、デジタルトランスフォーメーション（DX）が進むにつれ、AIに不可欠な半導体需要の増加が予測される。これに伴い半導体製造による消費電力量や、AIの活用機会拡

大でデータセンターでの消費電力量は増加する。たとえば、ChatGPTのような生成AIを活用した一回の質問・回答は、電力量を2.9Wh消費する。これは、一般的なインターネット検索一回あたりの消費電力量0.3Whの約10倍に相当する。膨大な電力消費とともに、更なる発展が期待できる経済・社会構造の変革期ゆえに環境負荷低減は、すべての産業の共通課題といえる。脱炭素化の加速化が一層求められる中、本稿の事例が最適解導出の端緒となれば幸甚である。

大阪広域水道企業団事業統合に伴う対応

本論文は（前）八尾市水道局施設整備課配水係長（2021.4-2025.3在籍）時に実施したものである。

関連論文

高安受水場における公民連携によるゼロカーボン達成に向けた小水力発電事業、2024

謝辞：本稿執筆にあたり、ご協力いただいた株式会社DK-Powerの皆様に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 環境省：地球温暖化対策計画
- 2) 農林水産省：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説—設計「パイプライン9-2 非定常的な水理現象の解析」
- 3) 公益社団法人日本水道協会：水道施設設計指針 2012
- 4) 経済産業省：令和5年度エネルギーに関する年次報告（エネルギー白書 2024）
- 5) 国立研究開発法人国立環境研究所：日本の温室効果ガス排出量データ
- 6) 経済産業省：エネルギー基本計画

京都エリアにおける オーバーツーリズム対策について

木本聖徳

近畿地方整備局 京都国道事務所 計画課（〒600-8234京都市下京区西洞院通塩小路下る南不動堂町808）

世界有数の観光都市である京都市には、国内外から多くの観光客が訪れている。一方で、観光客の増加に伴い、一部の地域・時期・時間帯に観光客が集中し、観光地・道路・路線バスにおいて深刻な混雑が発生している。この問題は、観光客の満足度の低下のみならず、地域住民の生活にも影響を及ぼしており、いわゆる「オーバーツーリズム」が発生している。

こうした課題に対応するため、京都国道事務所と京都市など関係機関が連携し、様々な対策を講じている。本稿では、それらの取組内容を紹介するとともに、今後の課題・展望について述べるものである。

キーワード 駐車場予約システム、観光デジタルマップ、観光DX

1. はじめに

京都市には清水寺や嵯峨嵐山などの世界有数の観光地が点在し、四季折々の美しい風景が魅力となり、コロナ禍を経て、年間を通じて国内外から多くの観光客が訪れている。特に、春の桜や秋の紅葉シーズンには観光客数が急増し、観光地そのものの混雑に加え、主要観光地周辺では道路や駐車場、公共交通機関に至るまで深刻な混雑が発生している。（写真-1）



写真-1 道路の混雑（東山・清水周辺）

また、京都市は観光地と市民の生活圏が近接しているため、観光地周辺の混雑は生活道路における交通渋滞や路線バスの遅延・混雑を引き起こし、市民の日常生活にも影響を及ぼしている。まさに「オーバーツーリズム」の状況である。

このような状況を受け、京都国道事務所では、京都市

をはじめとする関係機関と連携しながら、オーバーツーリズム対策を推進している。

2. これまでの取組

2022年11月の秋の観光シーズンには、AIによる画像解析データや、ETC2.0プローブデータから将来と当日の渋滞状況を予測するAI渋滞予測モデルを構築し、渋滞予測結果を情報提供する実証実験を実施した。（図-1）



図-1 情報提供画面

この実証実験は、観光目的のドライバーに対して経路分散等を促し、主要観光地である東山地域への流入抑制を図るため、東山地域の主要幹線道路である東大路通の渋滞予測を行った。しかし、東大路通だけの情報発信では観光客にとって出発地から目的地までの移動経路のごく一部にすぎず、また観光客の多くがカーナビの案内に従って東大路通を走行していたと見られ、経路分散の効果は限定的であった。

このため、2023年11月には、自動車利用から公共交通へのモーダルシフトと需要分散に比重を置いた施策を実施した。ETC2.0プローブデータの過去の実績値を用いて道路の渋滞予測範囲を拡大するとともに、道路のライブカメラ映像配信や自動車以外の交通手段に関する情報等、行動変容に資する情報を集約した「京都観光 交通総合情報サイト（#スイスイ京都）」を公開し、公開期間の47日間で累計75,436人のユーザーに利用された。（図-2）

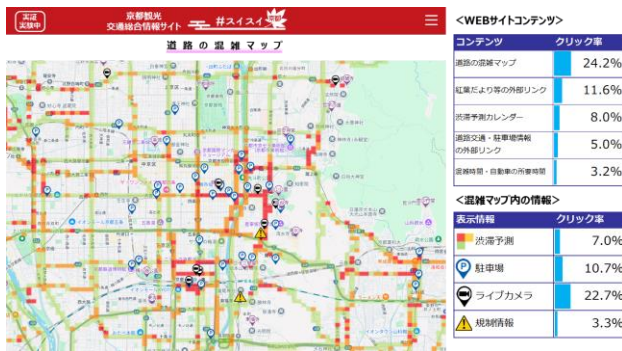


図-2 特設サイト（#スイスイ京都）

利用者に対するアンケート調査の結果、WEBサイトを閲覧することで交通手段や来訪日を変えるなど、何らかの行動変容を起こしている人が確認された。また、渋滞損失時間も前年度より減少していることから、混雑緩和に少なからず寄与したと推察されるが、依然、観光地周辺における渋滞は発生しており、今後、インバウンドの増加により観光客の集中が予想されることから、更なる対応策を検討し、交通渋滞の緩和を図っていく必要がある結果となった。（図-3）



図-3 損失時間の変化

3. 観光地周辺における駐車場予約制の導入

清水寺へと続く五条坂周辺では、観光繁忙期に駐車場の収容台数を超過する車両が流入し、空き駐車場を探してうろつく「うろつき車両」や、駐車場の入庫待ちの車両が道路混雑を引き起こし、国道1号などの幹線道路まで渋滞が延伸する状況が発生している。（写真-2）

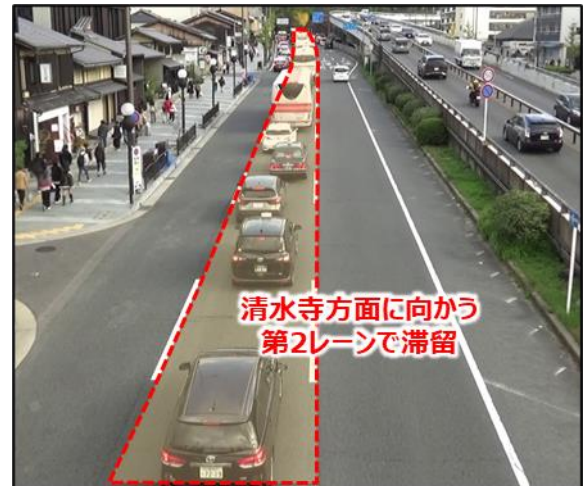


写真-2 国道1号（五条通）の渋滞状況

これらを解消するため、2024年度に京都市では五条坂に位置する市営清水坂観光駐車場において、観光バスの完全予約制を導入し、同期間中の自家用車の受入制限（終日駐車不可）を実施した。

この対策により、観光バスの来場時間の平準化および自家用車の流入抑制が図られ、混雑の緩和に寄与した。

加えて、京都国道事務所では駐車場予約システムを構築し、五条坂周辺の民間駐車場において普通車の予約制を導入し、2024年11月14日～2025年2月12日の92日間にわたり運用した。（図-4）



図-4 予約制導入エリア

予約制を導入することで、利用者は事前に駐車スペースを確保できるようになり、空き駐車場を探し回るうろつき車両の削減が期待される。また、家族連れや高齢者にとっては、観光地近隣に確実に駐車でき利便性の高い仕組みとなる。さらに予約満車時には、公共交通機関の利用や訪問時期の変更といった行動変容を促す契機とな

り、結果として混雑緩和につながる効果も見込まれる。

取組結果として、バスの完全予約制は多くの利用があり、普通車の予約についても観光ピーク期の11月23日(土)～12月8日(日)の16日間で、予約サイトへのアクセス数が30,068回、予約件数が152件あり、一定の需要が確認された。

また、AIカメラを用いて五条坂への車種別流入量を調査したところ、駐車場を利用する可能性が高い、府外自家用車やレンタカー、観光バスの流入量は前年より減少している結果となった。(図-5)

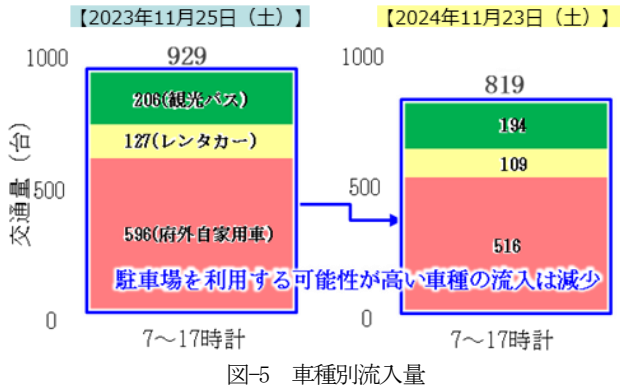


図-5 車種別流入量

一方で、運用全体では予約件数は311件にとどまり、アクセス数(85,978回)に対して予約が少ない結果となった。加えて民間駐車場を利用した一般車の予約制導入については、民間事業者の協力を得るための収益の確保などの課題が浮き彫りとなった。

4. 京都観光デジタルマップ

～Kyoto Smart Navi～の導入

これまで京都国道事務所では、第2章で述べたとおり、道路交通に焦点を当て、ICTやAIを活用した渋滞予測などの情報提供により車両の分散を図ってきた。これらの取組により一定の効果は得られたものの、観光シーズンなどのピーク時には依然として深刻な混雑が発生しており、根本的な渋滞解消には至っていない。

その要因として、「車の集中」だけでなく、「観光客の集中」という人的要因も密接に関係していることに着目する必要がある。京都市には有名観光地が多数存在する一方で、比較的空いている魅力的な穴場スポットも多い。また、同じ観光地でも時間帯によっては空いている場合も多く、混雑度に差がある。

そこで2024年度からは、「人」と「車」の両方の分散を目指し、時間的・空間的分散を促すことを目的とした、京都観光デジタルマップ Kyoto Smart Navi(京スマ)を構築し同年11月より運用を開始した。(図-6)

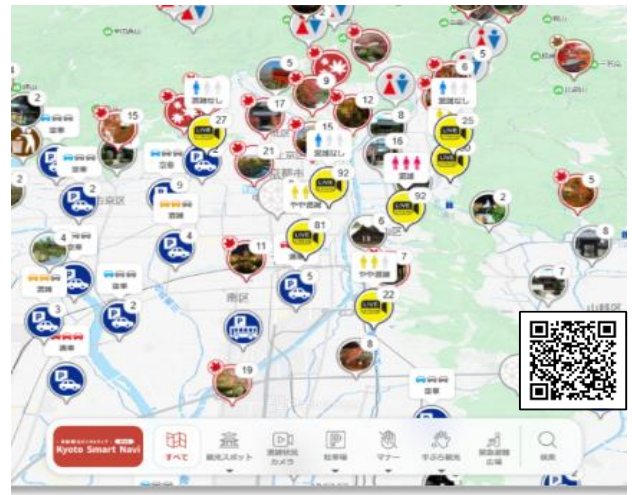


図-6 京都観光デジタルマップ

主な掲載内容は以下のとおりである。

- ① 混雑の見える化：ライブカメラの映像配信に加え、AI解析によるリアルタイムの混雑状況を配信。主要観光地に加えて、比較的混雑の少ない観光地の混雑状況や紅葉情報も併せて発信し、空間的分散を促進した。さらに、時間帯別の快適度マップを掲載し、早朝など比較的空いている時間帯の情報も発信することで、時間的分散も促進した。(図-7)
- ② 車の分散化：観光シーズンの渋滞状況の発信や、駐車場の位置情報及びリアルタイムの満空情報を掲載した。混雑駐車場への流入を抑制し、スムーズな誘導を図った。
- ③ 観光情報の提供：京都市や京都市観光協会と連携し、おすすめ観光スポットの情報や、市内各所の紅葉・桜の見ごろ状況を配信した。(図-8)
- ④ 各取組の周知：前章で述べた駐車場予約の情報や、京都市が取組んでいるパーク&ライド、臨時交通規制などの情報を掲載し、周知を強化した。
- ⑤ その他の掲載内容：公衆トイレ・ゴミ箱・手荷物預かり所の情報や経路検索、緊急避難広場の情報等を掲載し、利用者の利便性向上に繋げた。



図-7 混雑状況配信



図-8 紅葉色づき情報配信

京スマは観光に必要な情報を、ワンストップで確認できる観光 DX プラットフォームとなっており、運用から8ヶ月で60万件を超えるアクセスを記録するなど、観光客に定着しつつある。

現在、掲載している内容の他にも、予約・決済システムや電子クーポン、MaaS連携機能なども掲載可能となっており、今後、機能拡充や多様なサービスやシステムを統合することで、効率的な交通誘導の活用にも期待できる。

5. 観光客の来訪状況、旅行速度の変化

人流データを用いて2024年11月の国内外観光客の総数を前年と比較した結果、清水・祇園や嵯峨嵐山などの主要観光地では減少していた。一方で、一部の郊外エリアでは増加が見られた。(図-9)

観光地における滞在時間の傾向は前年と同様、一部では観光客が集中する時間帯に若干の変化が見られたものの、多くの地点では10時～16時頃に集中する傾向が続いていた。このことから、更なる時間分散を促す対策の必要性が示唆された。(図-10)

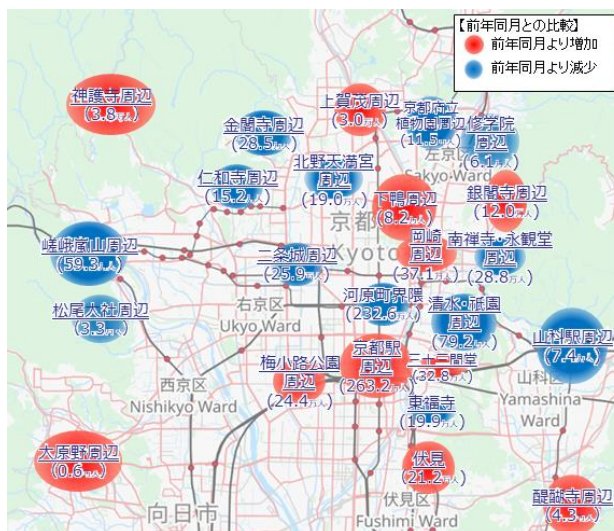


図-9 観光客数の前年比較

また、ETC2.0 プローブデータを基に観光地周辺道路の旅行速度を分析したところ、京都市全体の平均旅行速度は前年より0.1km/h低下した一方で、来訪者数が減少した清水寺周辺、嵯峨嵐山周辺ではそれぞれ、1.1km/h向上した。(図-11)これに対して、来訪者数が増加した一部の郊外観光地では旅行速度の低下が確認されたが、もともと旅行速度が比較的高いため、道路混雑に与えた影響は少なかったと考えられる。

これらの結果から、観光先の分散化が一定程度進展し、特定観光地への集中緩和や観光客の行動変容が生じ、それに伴い道路渋滞の緩和にも寄与したものの推察される。背景には京都国道事務所および京都市などの関係機関が連携し進めてきた、さまざまなオーバーツーリズム対策が寄与していると考えられる。

このような効果が見られたものの、依然として特定の地域や時間帯への集中が続いており、更なる対策が求められる。

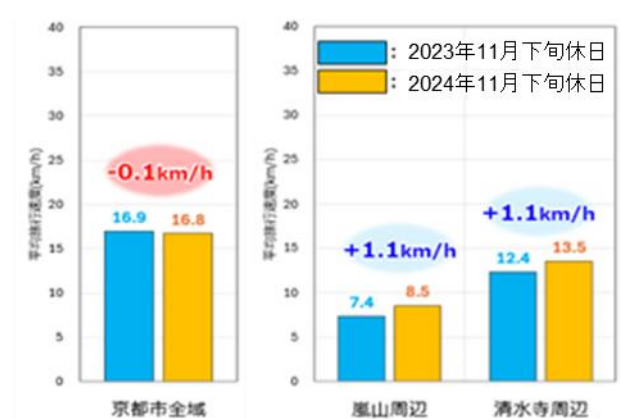


図-11 旅行速度(昼間12時間平均)

6. 今後の課題と展望

これまでの取組により、一部の観光客においては分散化の傾向が見られ、一定の効果が確認された。しかしながら、観光渋滞を根本的に解消するためには、さらなる分散化の促進を含む多角的な取組が不可欠である。とりわけ、観光客全体の意思決定や行動を変容させるためには、単なる情報提供にとどまらず、より実効性の高い戦略的な情報発信や誘導施策の強化が求められる。

今後は京スマの機能拡充を軸に、来訪者が楽しみながら自然に行動変容へと導かれるような仕組みの導入を検討している。こうした取組を継続的かつ効果的に展開し、観光先や時期、時間帯の分散化を促進することで、観光渋滞や公共交通機関の混雑緩和につながり、市民生活への影響の軽減にも寄与することが期待される。

参考文献

- 1) (仮称) 京都エリアにおける観光渋滞対策について：R5年度近畿地方整備局研究発表会発表

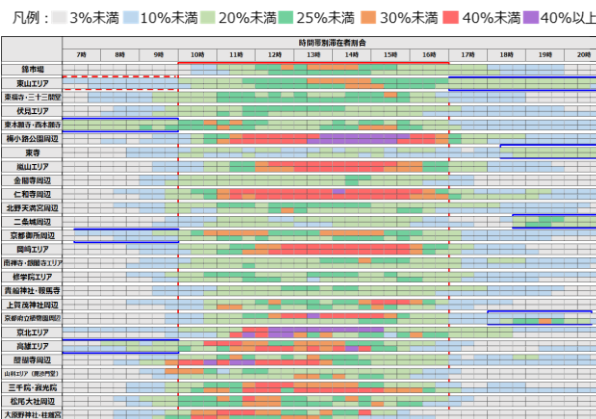


図-10 時間帯別滞在者割合

管内のDX活用事例について

田中 雄太郎

近畿地方整備局 紀南河川国道事務所 新宮河川国道維持出張所
(〒647-0051和歌山県新宮市磐盾1-3)

近年、インフラ分野においてDXの活用が推進されるようになった。
その一層の取り組み強化に向けて、紀南河川国道事務所管内で実施した取り組み内容とその今後の展望について、紹介するものである。

キーワード DX、ICT、新技術

1. 初めに

近年、国土交通省（以下国交省という）や建設業界では深刻な人手不足に悩まされている。

その状況下、建設業界ではDXを使った効率化が推進されるようになった。

そこで、紀南河川国道事務所管内で実施した、事例を紹介し、DXの効果を再確認することで、さらなるDXの推進に向け方策を考察する。

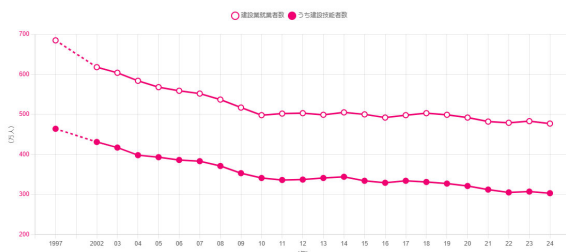


図-1 建設業就業者数の推移

(2) インフラDXの概要

インフラDXは社会経済状況の激しい変化に対応し、インフラ分野においてもデータとデジタル技術を活用して、国民のニーズを基に社会資本や公共サービスを変革すると共に、業務そのものや、組織、プロセス、建設業や国土交通省の文化・風土や働き方を変革し、インフラへの国民理解を促進すると共に、安全・安心で豊かな生活を実現すべく、省横断的な取組をいう。

国交省における主な取組としてはICTの推進やBIMCIMの導入が挙げられる。インフラDXに期待される効果として、BIMCIM等の3次元データを用いることによる公共事業への理解の浸透や、建設機械の遠隔操作やICT建設機械での施工等による、安全で快適な労働環境を実現等がある。



図-2 3次元データを用いた施工イメージ

2. DXの概要

(1) DXの概要

DXの事例を紹介する前に、DXについて概要を再確認する。DXとはデジタル技術を活用し、企業や業務、組織文化などを根底から変革することで、新たな価値を創出する取り組みである。

したがって、既存のアナログな業務や情報のデジタルデータへ置き換えや、そのシステム導入のみでは、DXとは言えず、個人や組織そのものの認識の変化が必要である。



図3 ICTを用いた施工

3. 3Dプリンターを用いた事例紹介

(1) 事例紹介

ここからはDXの事例を紹介する。

3Dプリンターを活用した事例であるが、建設用3Dプリンターと呼ばれる、構造物の3次元図面データを作成後、構造物の高さ方向に一定幅でスライスした断面データに変換し、その断面データに基づいてモルタルを積層造形することで、コンクリート構造物を製造する機械・技術を用いて、階段の作成を行った。

従来は型枠を用意する職人や、それにコンクリートを流し込む職人など、複数の人手が関わっていた工程を、3Dプリンターが代替することで、人員の削減や、工期短縮につながる。



図4 3Dプリンターで作られた階段

(2) 今後について

将来的に、3Dプリンターの導入により、建設作業の多くが自動化されれば、深刻化する建設業界の人手不足問題の解決につながる。特に熟練工の確保が困難な技能を要する作業や、危険を伴う作業などを3Dプリンターで代替することで、労働力の効率的な配分が可能になると思われる。

また、若い世代にとって魅力的な最新技術として、建設業界への新たな人材の呼び込みにも期待でき、デジタ

ル技術を活用した建設現場は、従来の3K（きつい、汚い、危険）というイメージを払拭し、若者が働きたいと思える環境を提供できる可能性がある。

4. 3次元データを用いた事例紹介

(1) 事例紹介

次に3次元データを用いた事例を紹介する。紀南管内の一部を洪水浸水想定区域図に基づいて3次元化を実施した。

これにより建物と浸水深の関係について、立体的にイメージが可能となった。

水没する建物、垂直避難が可能な建物の把握が可能。3次元化することの大きな利点としては、浸水状況を直感的に把握できることである。

従来の平面図に表した図では、規模感等が分かりづらく、被害の想像が困難であった。しかし、3次元化することにより、自分の住宅や職場がどのくらい浸水するか等、地図上で把握、想定しやすくなった。

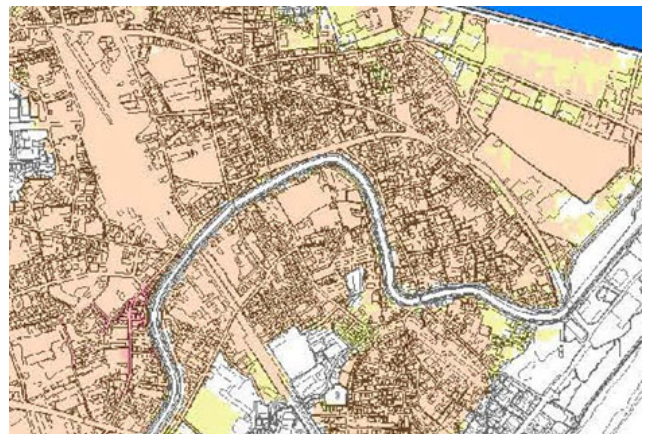


図5 従来の浸水区域の想定図



図6 3次元データを用いた浸水区域の想定図

(2) 今後について

将来的に、紀南管内、近畿地整管内そして、全国のハザードマップの3次元化が望まれる。

水害が少ないとはいえない我が国では、公助のみでは無く、その場所に住む一人一人の心持ちや行動が重要になってくる。

自助や共助をより良い方向にするためにも、被災時の想定を分かりやすくすることが重要である。

5. GPS等を用いた事例紹介

(1) 事例紹介

続いて、砂利の掘削・運搬について、GPSを活用した事例を紹介する。

掘削現場、運搬トラック、現場事務所に専用のスマホを配備し、それらをシステムで一元管理することで、トラックの現在地や運搬状況を可視化することが可能となった。

従来は機械の配置や現場の状況が把握できないため、従来は事前情報がないまま担当者に電話で確認していたのが、このシステムにより、複数現場の進捗状況（土量・積込・荷降）や建設機械やダンプトラックの情報（位置・稼働時間・平均燃費）が可視化されるため、全体の状況を瞬時に把握することが可能になる。

また、利点は他にもあり、運搬道路の一部が狭く、トラック同士の離合が困難な場合に互いの状況を確認し、回避することが可能である。

更に、蓄積したデータを元に、分析を行い、最適な運搬台数・回数を検討することも可能である。これにより、日数や人員、コストの削減につながり、生産性が向上した。



図-7 GPS等を用いた土砂運搬のイメージ

(2) 今後について

将来的に、運搬だけではなく、工事を行う際も、可視化できれば、受注者の進捗の管理が行いやすく、職員と

の情報共有も行いやすいため、格段と利便性が向上する。

そのためには、スマホ等の機材の導入が必要となるため、受注者だけではなく、発注者も多額の予算が必要となるが、全体の業務量の大幅な削減につながるため、その価値は十分にあると考える。

6. 国交省のDXについての考察

3つの事例を紹介したが、どれも受注者が行ったものである。一方で、発注者である国交省では、最近、RPAの講習会や職場環境の改善を実施した。

しかし、大きな改革は起こっていないのではと考える。大きな改革とは、新しいシステムを導入したりすること等の目に見えることだけを指しているのではなく、職員一人一人や事務所毎の認識等の考えかたについても指している。

現状、DXといえば、新しいシステムの導入や、デジタル化を推進する、効率化等を実施しているが、より一層のDXの推進に向けては、職員一人一人がDXについて理解を深め、組織全体で取り組んでいくことが、より良いDXのために重要と考える。



図-8 職場環境改善の様子

7. まとめ

DXはデジタル技術を活用し、企業や業務、組織文化などを根底から変革することで、新たな価値を創出する取り組みである。

現在、人手不足により、DXの推進が求められており、システムの導入や効率化は推進されている。

しかし、さらなる改革のためには職員一人一人の認識の変化も不可欠と考える。

したがって、本質を理解したDXを実施することで、職員の負担の減少のみならず、より良質な社会基盤整備や、未来の建設業界の改革、ひいては我が国の未来につながるため、今からより一層DXに力を入れることが必要不可欠である。

産業用地の確保に向けた 区域区分の見直しについて

三浦 太郎¹

¹兵庫県まちづくり部建築指導課（〒650-8567 兵庫県神戸市中央区下山手通5丁目10番1号）

国内の分譲可能な産業用地は減少傾向にあり、産業用地の整備に際しては、都市計画における区域区分制度の運用が重要な役割を担っている。本論では、産業用地面積と工業出荷額、商品販売額及び人口との相関分析を通じて、現行の推計手法の妥当性を検証した。工業用地については、トレンド推計に代えて政策目標に基づくフレーム設定の導入を提案し、商業用地については、商品販売額よりも人口との相関が高いことを明らかにした。これらの検証結果を踏まえ、区域区分制度の安定的かつ柔軟な運用に資する改善の方向性を提示した。

キーワード 区域区分、産業フレーム、相関分析

1. はじめに

2023年、国内における分譲可能な産業用地ストックは過去30年間で最小規模となり、初めて1万haを下回った。また、同年に経済産業省が実施した調査により、都道府県及び指定都市の約91%が「産業用地を確保できていない」と認識していることが明らかとなった。

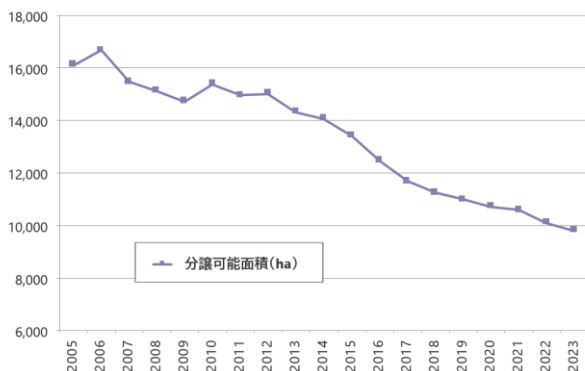


図-1 分譲可能面積の推移¹⁾

兵庫県では、大規模な産業用地の多くが、市街化調整区域内の農地や山林等を開発することにより創出されている。地区計画を定め、市街化調整区域のまま開発を行う例もあるが、原則として都市計画手続に則り、市街化区域に編入（以下単に「編入」という。）した上で開発を行っている。

兵庫県は、神戸、阪神間、東播、中播及び西播の5都市計画区域において、1970年度に区域区分（市街化区域と市街化調整区域の区分）を決定し、これまで8回にわたり一斉見直しを実施してきた。見直しに際しては「人口フレーム方式」により、住宅用地及び産業用地（工業

用地及び商業用地）の適正規模を算定し、その範囲内で市街化区域の規模を設定している。

近年、編入のニーズは産業用地が大半を占めているが、住宅用地の規模算定に係る人口フレームについては既往の研究が多く存在する一方、産業用地の規模算定に係る研究は現時点では確認できない。

そこで本論では、兵庫県が現在区域区分の都市計画を定めている阪神間、東播、中播及び西播の4都市計画区域を対象に、区域区分に係る都市計画の運用の側面から、産業用地の確保について考察する。

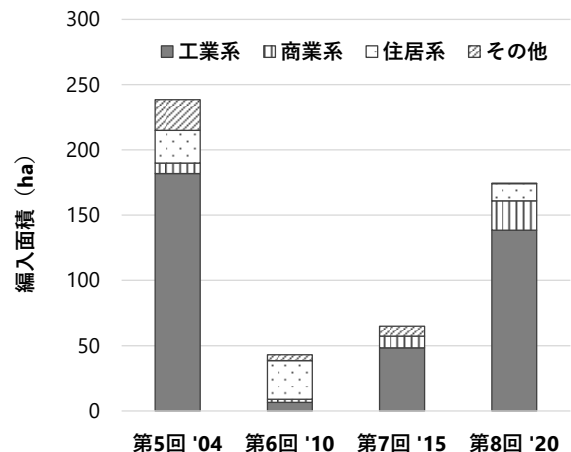


図-2 目的別編入面積の内訳（阪神間・東播・中播・西播）

2. 産業用地に係る市街化区域編入

産業用地の編入は、都市計画区域ごとに、構成市町の工業出荷額及び商品販売額（以下「各指標」という。）に係る目標年次における各推計値（以下「産業フレーム」

という。)と基準年次における各実績値(以下「基準値」という。)を比較し、産業フレームが基準値を上回ることを前提として、その差分の範囲内で許容される。

産業フレームの算定方法は、近畿地方の府県及び指定都市では全て「トレンド推計」が採用されており、標準的手法となっている。具体的には、過去一定期間の統計データに基づき回帰分析を行い、決定係数(相関係数 R の2乗)が最大となる回帰式によって定義される近似曲線を、基準年次から目標年次までの年数(兵庫県では10年)分延長することで推計値を求めている。

したがって、各指標が上昇トレンドにある限り、産業フレームは基準値を上回り、編入の余地が生じる。しかし、推計手法の性質上、各指標が下降トレンドに転じた場合には、新たな産業用地を創出するための編入が困難となり、これにより、各指標の回復がさらに困難となるという悪循環に陥る懸念がある。

近畿地方の府県及び指定都市は、2024年度時点において、京都府を除き産業フレームが基準値を下回る区域を有しておらず、課題は顕在化していないが、産業フレームは経済情勢の影響を受けやすく、現在の推計手法は実態に即していない可能性があると考えられる。そこで、本論ではその妥当性を検証する。

3. 兵庫県における産業フレームの課題

(1) 産業フレームのこれまで

過去20年間に行われた4回の一斉見直しにおける産業フレームと基準値との差について、都市計画区域別、工業・商業別の算定結果を時系列に整理した。

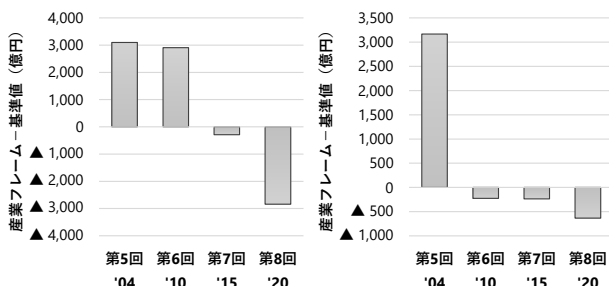


図3 フレームと基準値の差 阪神間都計・工業

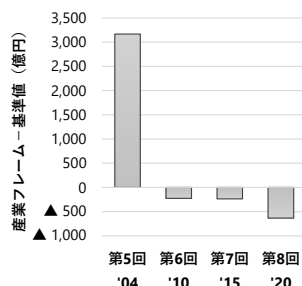


図4 フレームと基準値の差 中播都計・商業

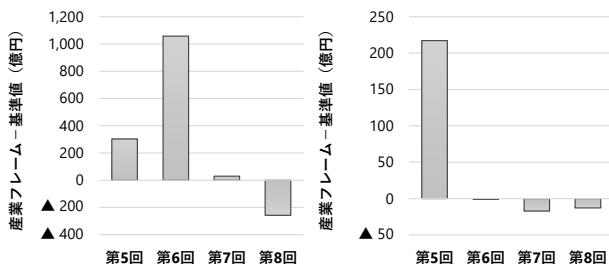


図5 フレームと基準値の差 西播都計・工業

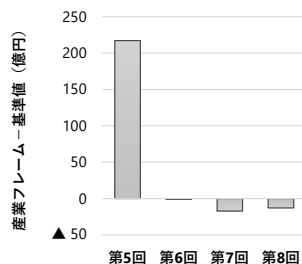


図6 フレームと基準値の差 西播都計・商業

その結果、阪神間都計では第7回及び第8回の工業(図-3)、中播都計では第6回から第8回までの商業(図-4)、西播都計では第8回の工業(図-5)及び第6回から第8回までの商業(図-6)について、産業フレームが基準値を下回っており、産業用地の整備を目的とした編入が理論上できない状況が生じていたことが確認された。

(2) 産業フレームの課題

このような状況は、今後も生じる可能性がある。

開発候補地周辺における都市基盤の整備状況に課題がなく、開発計画自体にも妥当性が認められるにもかかわらず、産業フレームの不足を理由として地域の産業用地ニーズに応えられない場合、算定根拠の合理性が問われることは必然である。そこで納得感のある説明ができなければ、区域区分制度への信頼が損なわれ、都市計画の安定的な運用に支障をきたすおそれがある。

(3) 産業規模に関する指標の相関分析

産業フレームの考え方は、産業規模と産業用地面積、すなわち工業出荷額と工業用地面積及び商品販売額と商業用地面積がそれぞれ連動する(正の相関がある)ことを所与としている。

そこで、各指標が産業用地のニーズを的確に説明する変数となっているかを検証し、現在の産業フレームの設定方法について課題を抽出するため、産業用地面積と各指標及び人口との相関を分析し、相関係数 R を算定した。

ここで、工業用地面積は工業統計における「工場敷地面積」を用い、商業用地面積については直接的な統計データがないことから、商業統計における「売場面積」で代替することとした。

表-1 産業に係る指標間の相関係数

比較する指標		相関係数 R				
		阪神間	東播	中播	西播	全体
工場敷地面積 ($n=11$) 2010~2020年	工業出荷額	0.01	0.46	0.06 (0.56)	▲0.24	0.45 (0.66)
	人口	0.10	▲0.52	▲0.91	▲0.06	▲0.84
売場面積 ($n=4$) 2011~2020年	商品販売額	▲0.06	▲0.73	▲0.58	0.76	▲0.54
	人口	0.91	0.48	0.93	0.12	0.98

備考：括弧内は2020年を特異点として無視した場合

工場敷地面積は、工業出荷額との間に東播都計で中程度の正の相関が見られる一方、阪神間、中播及び西播都計では相関の程度が弱い。ただし、中播都計では2020年に工業出荷額が前年の1割以上減少しており、これを特異点として無視した場合には、中程度の正の相関が認められる。なお、4都市計画区域全体では中程度の正の相関が見られる。

一般部門(活力): No.10

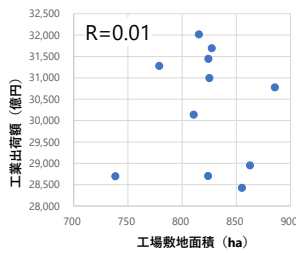


図-7 工場敷地面積 - 工業出荷額散佈図 (阪神間)

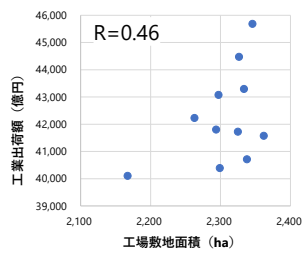


図-8 工場敷地面積 - 工業出荷額散佈図 (東播)

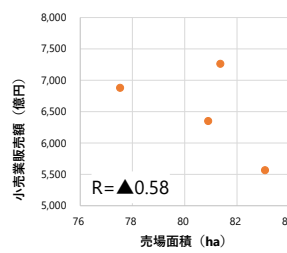


図-14 売場面積 - 商品販売額散佈図 (中播)

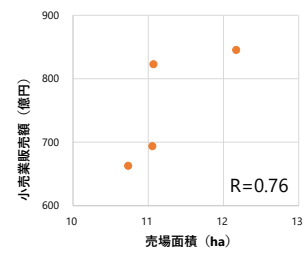


図-15 売場面積 - 商品販売額散佈図 (西播)

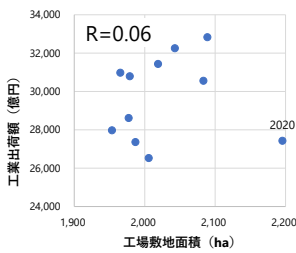


図-9 工場敷地面積 - 工業出荷額散佈図 (中播)

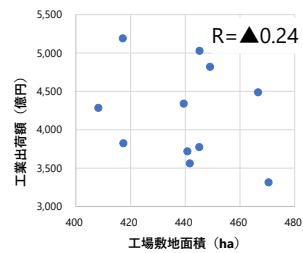


図-10 工場敷地面積 - 工業出荷額散佈図 (西播)

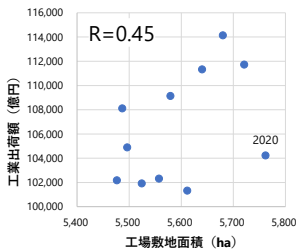


図-11 工場敷地面積 - 工業出荷額散佈図 (全体)

また、人口との間に東播及び中播都計で負の相関が見られたが、人口が単調に減少する中で、工業用地は概ね増加傾向にあったことが要因と考えられ、有意な関連性は認められない。

売場面積は、商品販売額との間に東播及び中播都計で中程度から強い負の相関が、西播都計で強い正の相関が見られ、阪神間都計ではほぼ相関がないなど、一定の傾向が見られなかった。

一方で、人口との間に阪神間及び中播都計で極めて強い正の相関、東播都計で中程度の正の相関が見られ、西播都計では相関の程度が弱い。なお、4都市計画区域全体では極めて強い正の相関が見られた。

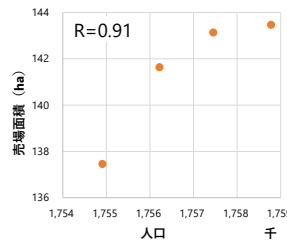


図-16 人口 - 売場面積散佈図 (阪神間)

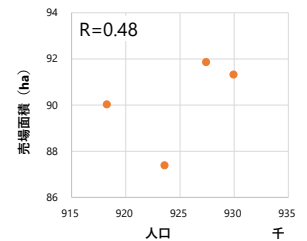


図-17 人口 - 売場面積散佈図 (東播)

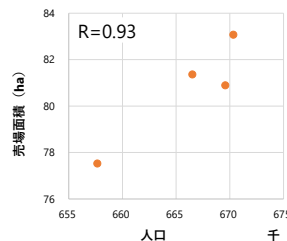


図-18 人口 - 売場面積散佈図 (中播)

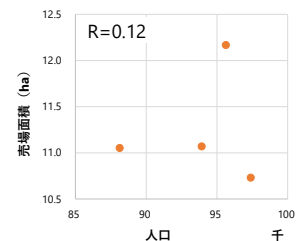


図-19 人口 - 売場面積散佈図 (西播)

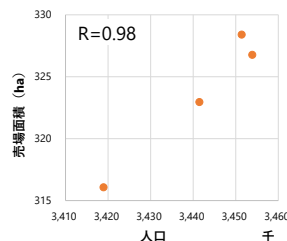


図-20 人口 - 売場面積散佈図 (全体)

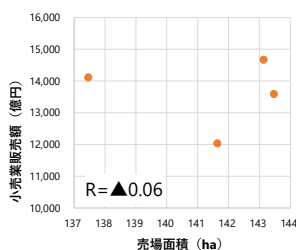


図-12 売場面積 - 商品販売額散佈図 (阪神間)

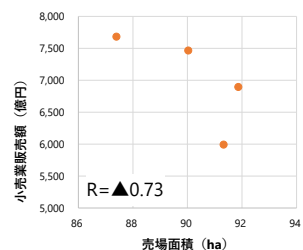


図-13 売場面積 - 商品販売額散佈図 (東播)

産業フレームの考え方においては、産業用地面積は産業規模と正の相関を有することが前提とされているが、この前提は、上記の分析結果によれば、売場面積と商品販売額との間には必ずしも認められない。

(4) 産業規模に関する指標の妥当性

工業用地面積については、4都市計画区域全体としては工場敷地面積と工業出荷額との間に正の相関が見られることから、工業出荷額を基に産業フレームを設定することは一定の妥当性が認められる。ただし、都市計画区

域により相関の程度に差があることに加え、経済情勢による変動の大きい指標であり、トレンド推計の結果が産業の実態と乖離していないか留意が必要である。

商業用地面積については、売場面積と商品販売額との間に相関が認められず、商品販売額を基に産業フレームを設定することの妥当性には疑問が残る結果となった。

一方で、人口との間には正の相関が見られることから、商業用地については、人口動態に基づいて規模を設定する方がより妥当性が高いことを示唆している。

4. 産業用地の確保に向けた考察

(1) 工業用地の確保について

工業用地については、産業フレームの算定に用いる指標が経済情勢に左右されやすく、推計結果が大きく変動することが課題である。西播都計では、第8回で基準値に対して▲7%であったのに対し、第9回(案)では+42%と大幅な変動が見られた。

このような不安定さは、指標の性質に加え、過去の傾向を増幅する推計手法にも起因している。過大な上振れは実務上の支障とはならないものの、根拠としての説得力を欠く。

そこで、「市街化区域の規模の設定方法について(試案)」(2011年6月 国土交通省)における業務用地の規模の考え方として、「都道府県が策定している(中略)その他の産業に関する計画における目標値又は推計値を尊重することが妥当」とされていることを踏まえ、従来のトレンド推計に代えて、「ひょうご経済・雇用戦略(2023~2027年度)」(2023年3月 兵庫県)において設定されたKGI「県内製造品出荷額の対2019年比増加率」を採用することを提案する。

この提案は、産業フレームの算定根拠を、従来の推計ベースから計画ベースへと転換するものである。

同KGIは5年間で5.3%の増加を目標としており、産業フレームにおける基準年次から目標年次までの10年間に換算すると約11%の増加となる。これを準用することで、産業政策と整合的な土地利用を図りながら、都市計画としても安定的な運用を行うことができる。

表-2 製造品出荷額に係る KGI (ひょうご経済・雇用戦略)

指標名	単位	現状 2021	目標値(年度)					
			2023	2024	2025	2026	2027	5年平均
KGI 県内製造品出荷額の対 2019 年比増加率	%	-1.5% (2019)	1.04%	2.09%	3.15%	4.22%	5.30%	-

そのほか、公有水面の埋立や郊外における産業団地整備が進められる一方で、工業地域や準工業地域が指定されている既成市街地では、工場跡地が住宅地として開発、分譲されるケースが散見される。

都市計画区域全体で産業用地を合理的に確保する観点からは、安易な転用を抑止し既存の産業用地を保全するための土地利用規制も検討すべきである。具体的には、保全すべき工業用地について、工業専用地域の指定や特別用途地区、地区計画等の活用により住宅の立地を規制することが考えられる。

(2) 商業用地の確保について

商業用地面積については、売場面積と人口との間に確認された正の相関を踏まえれば、人口減少が進展する中、計画論として都市計画区域内における総量を増やす積極的な理由は見いだしにくい。

しかしながら、既成市街地の商業施設が撤退後、跡地が他の用途に転用され、市街化区域内で商業機能の再整備が難しい場合など、地域ごとの実情によっては、編入のニーズは一定想定されるため、無秩序な市街地の拡大を防止しつつ、地域の実情を踏まえた柔軟な土地利用を可能とする制度上又は運用上の対応が求められる。

5. おわりに

本論では、産業フレーム設定に関する現行手法の妥当性について、指標間の相関分析を通じて検証を行った。

工業用地については、工業出荷額を指標としつつ、推計ベースから計画ベースへの転換を図ることで、より安定的かつ他政策と整合的な運用を可能とする改善案を提示した。

商業用地については、商品販売額よりも人口動態に基づいてフレームを設定する方がより合理的であることが示唆されたが、区域区分の運用を通じて商業用地のニーズに応える方法論を見いだすには至らなかった。

工業出荷額及び商品販売額のトレンド推計により目標年次における産業規模を設定し、それを編入規模の根拠とする方法は現在一般的ではあるが、各指標は必ずしも土地利用ニーズの程度をよく説明できるとは限らないため、他の指標を併用することや、政策上の目標値が存在する場合には、それらを準用することも選択肢としながら、エビデンスに基づいて土地利用の秩序とニーズを調整しうる都市計画の運用が求められる。

本論は、筆者の前所属である兵庫県まちづくり部都市計画課が所掌する事務(区域区分の都市計画)における課題を対象としたものである。

参考文献

- 1) 経済産業省：自治体担当者のための産業用地整備ガイドブック

急激な気温上昇と大阪湾の海水温の変動： モニタリングポストデータの解析

山崎 あかり¹

¹近畿地方整備局 神戸港湾空港技術調査事務所 調査課（〒651-0082神戸市中央区小野浜町7番30号）

日本の年平均気温は、2000年から2010年代前半は緩やかな低下傾向であったが、2014年の冷夏を境に変動を伴いながら急激な上昇となっている。この気温上昇が、大阪湾の水温に与える影響を、2010年4月から2024年3月の期間で調査した。冬季（1月～3月平均）は、水温は気温と連動して上昇していた。一方、夏季（7月～9月平均）は、気温、表層水温ともに有意な上昇がみられなかった。表層水温は、大阪湾底層に紀伊水道の底層から流入する冷水の影響と、気温の影響を受けて変動していた。このため暑夏であっても、底層への冷水流入があると、表層水温は上昇しなかった。底層水温の季節変動には、冷水流入の有無が大きく影響していた。

キーワード 気候変動、海水温、気温、水質自動観測、大阪湾

1. はじめに

(1) 背景

気象庁の気候変動監視レポート2023年では、トピックスとして「2023年の日本近海の記録的な海面水温について」をあげ、「2023年の日本近海の月平均海面水温は、年を通じて平年よりも高く経過し、年平均海面水温の平年差は、統計を開始した1908年以降、最も高い値となった」と報じている¹。この水温上昇は、気候変動による100年当たり1.35℃の気温上昇、1.28℃の水温上昇よりも遙かに急激な水温上昇が、2010年代後半から日本近海で起きていることの表れである。

(2) 大阪湾再生に与える影響

閉鎖性海域である大阪湾では、良好な水循環と生物多様性の確保を目的とした大阪湾再生行動計画に基づく取り組みが進められており、近年確認されなかった生物の定着も確認されるなど一定の改善成果が見られている。一方で今後の気候変動による気温上昇に伴う海水温上昇により、大阪湾再生に大きな影響を与えることが危惧されている。

水温は、生態系を特徴づける重要な環境変数である²⁾。冬季の瀬戸内海の水温は8℃～10℃であるのに対し、湾口外の黒潮に面する海域は、冬季でも16℃～18℃であり、10℃程度の水温差が湾口付近に集中している³⁾。漁業に

おける重要漁獲対象種であるマダイでは、水温12℃以下では行動が極端に緩慢になり摂餌も行っていないと考えられている。またマダイは、冬季は閉鎖性海域の低水温を避け、湾口海域に越冬回遊することが知られている。大阪湾のクロダイでは、水温が10℃～13℃以下になると、養殖ノリを摂餌することを止めることがバイオテレメトリーで調べられている。タイ類に限らず、多くの魚種が冬季の低水温を避けて越冬回遊しており、冬季水温は閉鎖性海域の生態系に影響を与えている²⁾。一方夏季から秋季の高水温は、カキやノリなど養殖に影響を及ぼす。

このため今回は大阪湾で観測されている種々のデータから2010年4月から2024年3月までの水温上昇について解析した。また、気温と水温の相関関係についても、冬季と夏季に分けて調査した。

2. 調査材料および方法

調査の対象としたのは大阪湾であり、主とする調査期間は2010年4月～2024年3月である（図-1）。冬季は1月～3月とし、夏季は7月～9月とした。測点A～DおよびA'には、2010年国土交通省近畿地方整備局神戸港湾空港技術調査事務所によって水質自動観測装置が設置され、以降、毎時の水温、塩分などの水質がリアルタイムで配信されている。本報では測点A～Dのデータを解析した。

明石海峡の測点Aのデータが欠測のときは、測点A'およびA''のデータで補間し、欠測のない明石海峡の日平均水温データを得た。測点A''の日平均水温データは、第五管区海上保安本部海洋情報部によって測られ、日本海洋データセンターで提供されているものである⁴⁾。

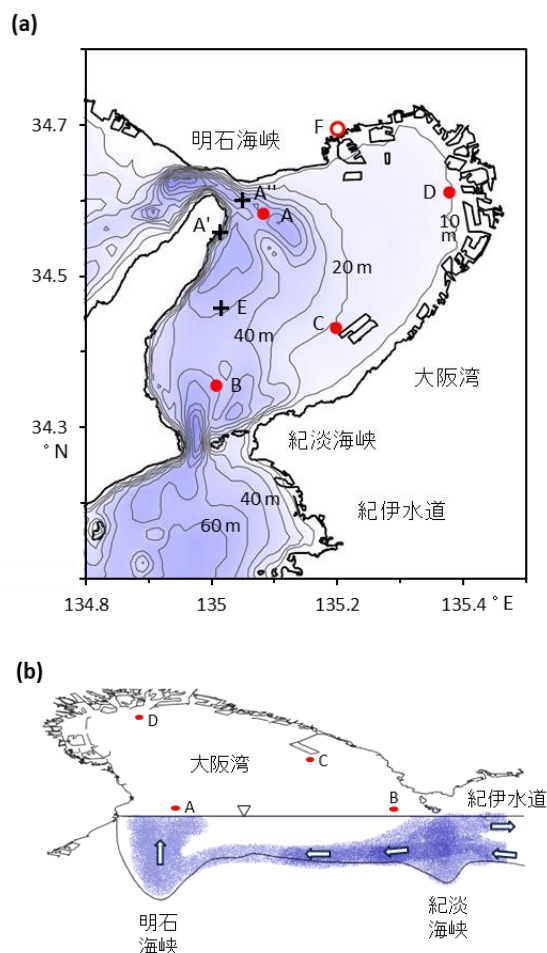


図-1 測点位置および海底地形

- (a) 平面図, A: 明石海峡航路東方灯浮標, B: 洲本沖灯浮標, C: 関空MT局, D: 大阪港波浪観測塔, E: 大阪府浅海定線調査測点5, F: 神戸地方気象台, A': 淡路交流の翼港, A'': 明石海峡航路第3灯浮標。
- (b) 135° E線, 縦断面図。陰影部は, 夏季に外海から流入する冷水を模式的に示したもの

図中、測点Eは、大阪府立環境農林水産総合研究所水産技術センターが実施する浅海定線調査の測点5である。これの2000年～2023年の各層水温データを解析に用いた。

気温は気象庁のデータを用いた。長期の気温としては、日本の年平均気温偏差の算定に用いられている15地点のうち、多度津（香川県、備讃瀬戸南岸）および彦根（滋賀県、琵琶湖東岸）を用いた。また、1980年からの気温については、均質な欠測のないデータが得られており、臨海部に立地している蒲生田（徳島県、紀伊水道

西岸）、郡家（兵庫県、播磨灘東岸）、家島（兵庫県、播磨灘）、引田（香川県、播磨灘南岸）および彦根を用いた。2000年以降は、家島、郡家、徳島、和歌山、神戸（図-1中、測点F）を用いた。

気温及び水温変化傾向は、最小二乗法により回帰直線の傾きを調べ、導出した傾きについてはt検定を行った。なお、気温の平年差は平年値（1991～2020年の平均）との差を用いた。

大阪湾の海底地形を図-1aに示す。湾の中央部に水深20m線が南北に走り、以東は水深20m以浅の停滞性水域であるのに対し、以西は水深40m～60mと深く、塩分成層の弱い海域である⁴⁾。紀伊水道の海水は、大阪湾の底層に密度流として流入する。夏季には、紀伊水道の南斜面にある陸棚斜面水（SW: slope water）と呼ばれる、低温・高密度で、栄養塩を高濃度で含む水塊の一部が、紀伊水道の底層を通して大阪湾西部底層に流れ込むことがある。このSWの流れを、図-1bの陰影部で模式的に示す。SWは、紀伊水道の底層から紀淡海峡に入り、ここの強い鉛直混合により一部は海面にまで広がるものの、さらに大阪湾西部底層へと流入し、北上し、明石海峡の強い鉛直混合によって海面にまで広がる³⁾。なお、大阪湾へのSWの流入は、毎夏起きるものではなく、黒潮の流路との関係で年により強弱がある。

3. 海水温の変動要因の分析

(1) 気温

気温の長期的な変化を図-2aに示す。多度津、彦根とも日本の年平均気温と同じく長期的な上昇を示しており、それぞれの傾きは、100年あたり1.35℃および1.49℃の上昇である。この長期的な上昇が、気候変動による気温上昇といわれるものである。この緩やかな上昇に、数十年スケールの振動（Multi-decadal oscillation）が重なっているため、急激な気温上昇期間と、横ばいの期間が現れている。前者としては、1980年～2000年の期間と、2010年代後半が観察される。

図-2bは、1980年からの東部瀬戸内海近辺の年平均気温である。各測点の気温は、よく類似した変動をしており、1980年～2000年に上昇し、以降、横ばいか緩やかな低下傾向が2014年まで続く。西日本の2014年は、2003年以来11年ぶりの冷夏であり、また2015年は2年連続の冷夏であった。以後、2016年の高温、2017年の低温を経て、急激に上昇している。

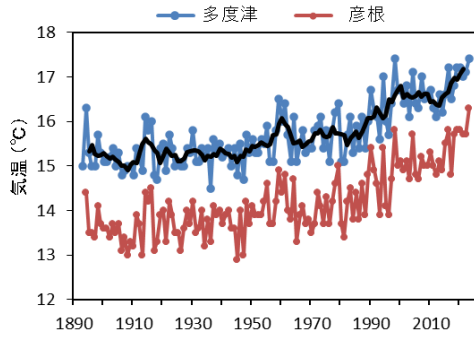


図-2(a) 長期の年平均気温

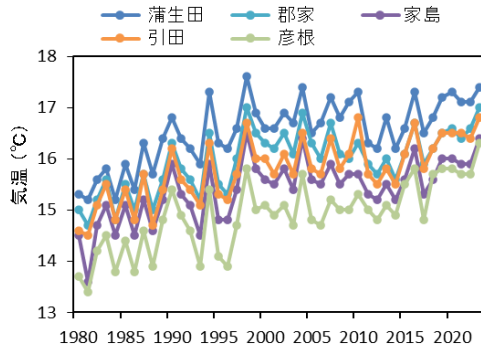


図-2(b) 1980年からの年平均気温

2010年代後半の気温上昇を、季節別に示す(図-3)。年平均の平年差は、図-2と同類である。冬季の平年差は、夏季よりも変動幅が大きく、2011年の谷から、2023年にかけて大きく変動しながら上昇している。一方、夏季の気温平均差は、2014、2015年の2年続きの冷夏、2022、2023年の暑夏が顕著であるものの、2011年～2023年間の気温上昇は有意ではなかった($p=0.162$)。2011年～2023年間の気温上昇は、年平均および冬季平均で、それぞれ10年当たり 0.89°C ($p=0.002$)、 1.77°C ($p=0.003$)であり、夏季平均については有意な変化はみられなかった。

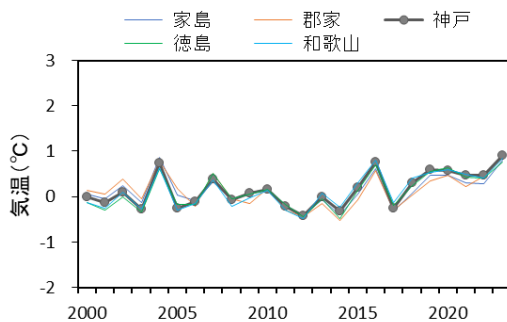


図-3(a) 気温平年差(年平均)

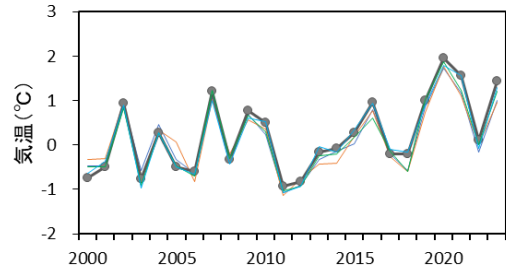


図-3(b) 気温平年差(冬季)

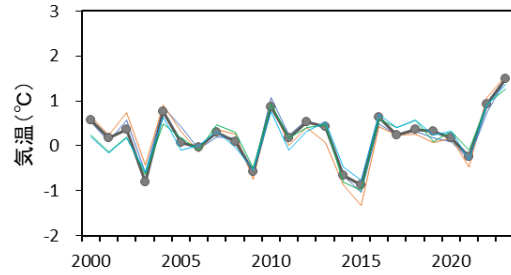


図-3(c) 気温平年差(夏季)

(2) 冬季水温

冬季の表層水温と気温の関係を図-4に示す。気温と水温の間には相関関係があり、相関関係 R は 0.82 ($p=0.001$)であった。また、2011年～2023年間の、気温および水温上昇は、それぞれ10年当たりで 1.77°C ($p=0.003$)、 1.45°C ($p=0.033$)であり、水温上昇速度は気温上昇速度の82%であった。

このような冬季水温の上昇により、冬季の年最低水温にも変化が現れている。図-5aは、年最低水温の変化である。明石海峡の年最低水温は2011年の 7.3°C から2024年の 10.2°C へと、約 3°C 上昇した。図中に点線で示した近似直線の傾きは、10年当たり 1.59°C ($p=0.020$)の上昇である。

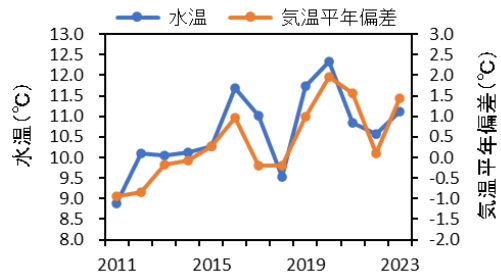


図-4 冬季平均の水温と気温の時系列

なお、2018年冬の顕著な低水温は、強い寒気の南下によるものであり、気象庁の報道発表資料では「(2018年)冬は、日本付近にしばしば強い寒気が南下し、冬の平均気温は全国的に低く、特に西日本では平年差 -1.2°C と過去32年間で最も低くなりました。日本海側では北陸地方を中心に大雪になり、交通障害が発生し

ました。」と記述している。

図-5bは、水温が魚類の行動に大きな変化が現れる10℃以下となる日の日数である。日平均水温が10℃以下となる日数は、2011年の84日から減少し（ $p=0.002$ ）、2023年、2024年は0日であった。

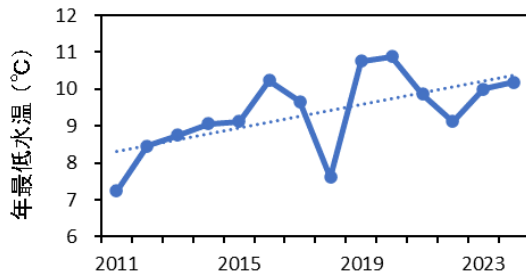


図-5(a) 明石海峡の表層水温（年最低水温）

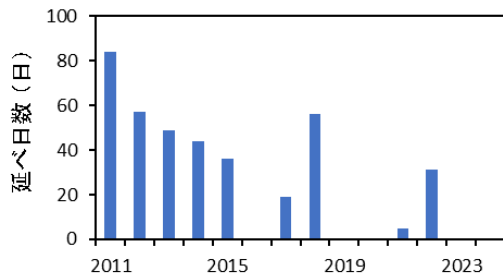


図-5(b) 明石海峡の表層水温（日平均水温が10℃以下の日数）

(3) 夏季水温と底層水温の影響

夏季の表層水温と気温の関係を図-6に示す。2011年～2023年の期間では、気温、表層水温共に有意な温度上昇はみられなかった。しかし、気温と表層水温の間にはやや弱いながら相関があり、相関係数 R は0.62（ $p=0.023$ ）であった。これは、表層水温を被説明変数、気温を説明変数とする回帰直線の決定係数 R^2 が0.38であることを意味し、気温以外の他の要因も表層水温に作用していることが考えられた。そこでもう一つの要因として、夏季に大阪湾底層に流入する冷水の影響を考えた。

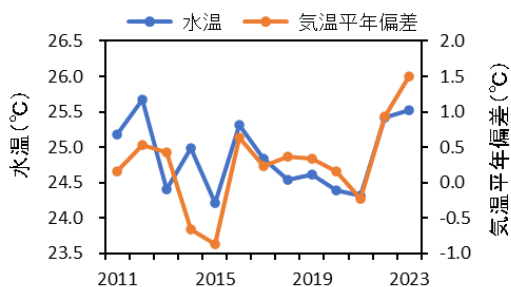


図-6 夏季平均の水温と気温の時系列

大阪湾西部の測点Eにおける夏季の各層の水温を図-7に示す。この測点は、鉛直混合の強い海峡部からは離れており、潮流振幅（ U ）および水深（ H ）から算定される混合エネルギー指標（ U^3/H ）は海峡部の100分の1以下である。夏季に紀伊水道から高密度海水が流入したと

きには、この測点の海底面上を密度流として流入し、この測点の底層が流入水のモニタリングに適した場所であると報告されている。この測点の底層の水温は表層とは異なった変動をしており、表層底層の水温差は4.8℃に及ぶ。底層の水温は、2010年以降では2013年、2018年～2021年には22℃以下となっている。このとき底層の塩分は高く、また栄養塩濃度は水温に逆比例して高くなっており、底層冷水は陸棚斜面水の特徴を示していた。

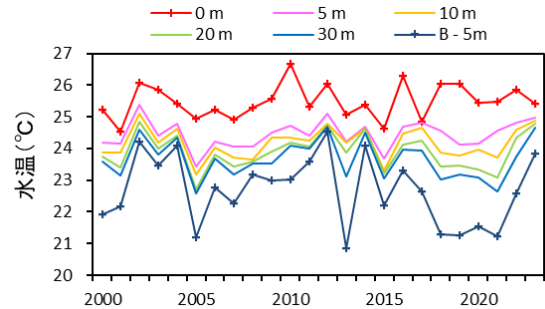


図-7 測点Eにおける夏季の各層水温

夏季における気温平年差と、明石海峡表層水温の散布図を図-8aに示す。青色点は、底層水温が22℃以下の年であり、オレンジ色点はその他の年である。オレンジ色点では、気温との相関関係 R が0.79と、全点を含んだ場合の0.62から向上しており、底層水温が表層水温に影響していることを示唆している。

そこで2010年～2023年夏季の表層水温 y を、気温平年差 x_1 と底層水温 x_2 の2変数で重回帰した。底層水温は、月に1回の測定値である。その結果

$$y = 0.396x_1 + 0.304x_2 + 17.91 \quad (1)$$

の予測式が得られた。実測水温と、式1による予測水温を図-8bに示す。重相関係数 $R = 0.969$ 、重決定係数 $R^2 = 0.939$ であり、表層水温のほぼ全ての変動が、気温と底層水温の2変数で説明された。説明変数 x_1 および x_2 の回帰係数の p 値はどちらも0.000であり、それぞれの標準誤差は0.060および0.031である。

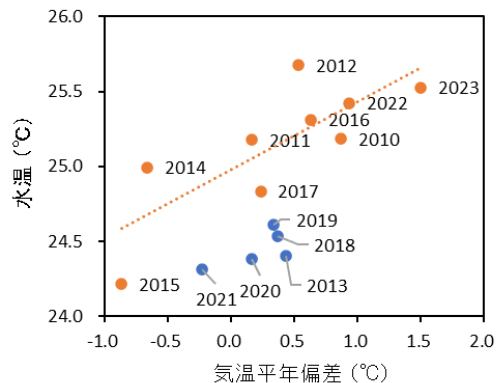


図-8(a) 夏季の気温平年差と水温の散布図

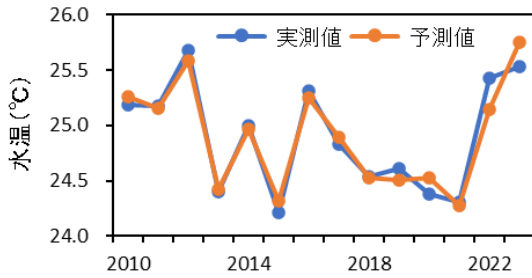


図-8(b) 実測水温と予測水温

(4) 冷水流入の有無と水温季節変動

底層冷水流入のある年(2013年夏季)と、ない年(2010年夏季)の各地の水温季節変動の違いを以下に示す。図-9は、測点BとCの、夏季を中心とする水温季節変動である。2010年も2013年も暑い夏であり、気象庁の報道発表資料では、それぞれ「夏の日本の平均気温は過去113年間で最も高い」、および「全国で暑夏、8月には熱波：西日本では夏の平均気温平年差が $+1.2^{\circ}\text{C}$ と1946年の統計開始以来第1位の高温となった。」と紹介されている。

どちらも暑夏であるにもかかわらず、冷水流入のある2013年夏季の表層水温は、2010年夏季の場合よりも顕著に低い。特に、底層(Bottom)の水温は、2010年には夏季の山があるのに対し、2013年には8月下旬の一時期を除き、明瞭な夏季の山がみられず、水温 23°C ~ 24°C が続いている。

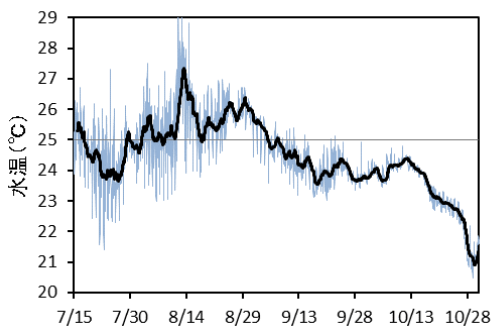
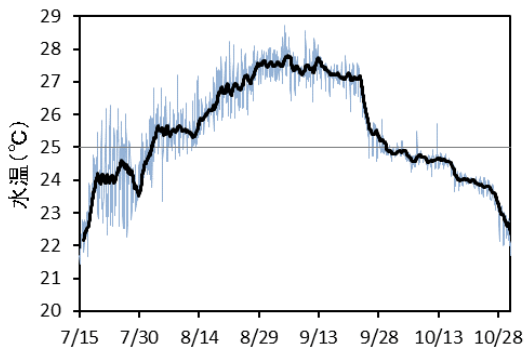


図-9(a) 測点B(洲本沖) 上：2010年夏季 下：2013年夏季

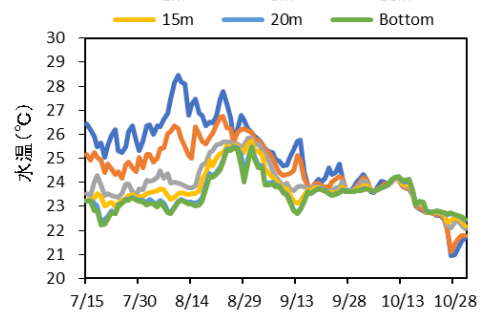
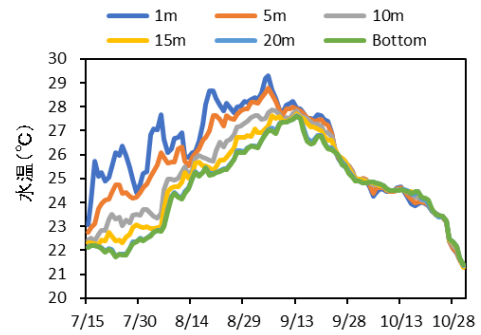


図-9(b) 測点C(関空MT局) 上：2010年夏季 下：2013年夏季

図-10は、測点D(大阪湾波浪観測塔)の水温記録である。この測点は、大阪湾奥部に位置し、水深も測点B,Cよりも浅いにもかかわらず、底層水温は、測点Cと類似の季節変動を示しており、冷水流入年には、夏の水温の山がなく、水温は 23°C ~ 24°C の間にほぼ留まっている。

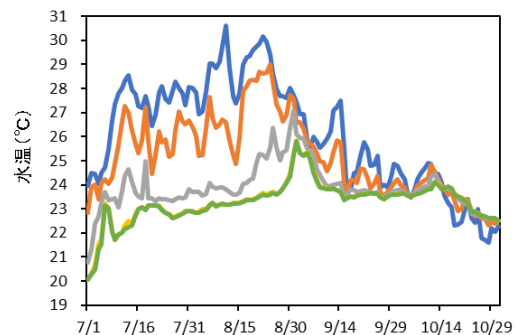
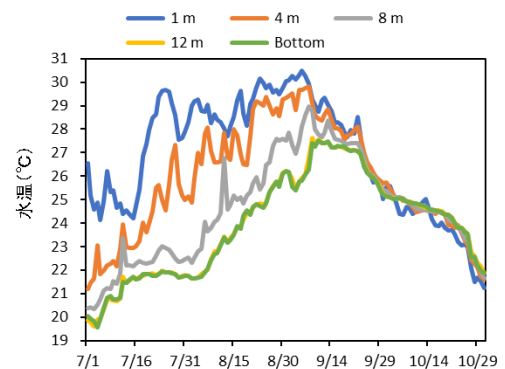


図-10 測点D(大阪港波浪観測塔) 上：2010年夏季 下：2013年夏季

4. 考察

本報の特色として、下記の3項目が挙げられる。：
 (1)2010年代後半からの急激な気温上昇に伴う水温上昇を対象としている、(2)水温の連続測定値を用いている、(3)湾外（紀伊水道の底層）から流入する冷水の影響に焦点を当てている、である。

多くの場合、気候変動に伴う水温上昇として、100年に1℃～2℃の緩やかな水温上昇が解析されるのに対し、本報では10年に数度という、近年の気温、水温の急上昇の大阪湾における実態を明らかにした。また、気温と同等な1時間ごとのサンプリング間隔のデータを用いることにより、月に1回のサンプリングでは測定が難しい夜間のデータも考慮した。このような理由により、冷水流入の有無によって、底層水温の季節変動パターンが大きく異なることは、今まで知られていなかった。

5. まとめ

本報では、2010年度～2023年度の期間において、以下の結果が得られた。

冬季(1月～3月平均)は、水温は気温と連動して上昇しており、明石海峡の年最低水温は2011年の7.3℃から2024年の10.2℃へと、約3℃上昇した。このため日平均水温が10℃以下となる日数は、2011年の84日から減少し、2023年、2024年は0日であった。

一方、夏季(7月～9月平均)は、気温、表層水温ともに有意な上昇が見られなかった。このため、暑夏であっても、底層への冷水流入があると、表層水温は上昇しなかった。

大阪湾奥部の浅海域においても、下層水温の季節変動には、湾外(紀伊水道の底層)からの冷水流入の有無が大きく影響していた。冷水流入が顕著な2013年の例では、底層水温に、夏季の気温上昇の山が見られず、表層水温は、例年の夏季よりも低かった。

2010年代後半からの、冬季の10年当たり1.77℃の気温上昇、1.45℃の水温上昇は、気候変動と言われる気温上昇速度の10倍以上の大きさである。この急上昇期は、まだその全貌が見えないが、1980年～2000年間にある急激な気温上昇期の次の気温上昇期とみられ、これが浅海域の冬季水温を上昇させていた。これらの結果は一基礎データとして、大阪湾再生に貢献すると考えられる。

6. 今後の課題

本報では2024年3月までのデータを元に調査を行ったが、図-11からわかるとおり、年平均の気温平年差は2020年以降年々差が大きくなっている。参考に2025年までの冬季平均の水温と気温の時系列を調べると、2023年以降はやや横ばいで推移しているが、2011年から2025年の変化傾向としては冬季の年平均水温は上昇傾向を示している(図-12)。

気象庁の気候変動監視レポート2024年では、「日本の年平均気温が2年連続で観測史上1位を更新」をあげている⁶⁾。2024年度以降も非常に暑くなっているため、今後も気温上昇と水温上昇をモニタリングしていく必要があると考えられる。

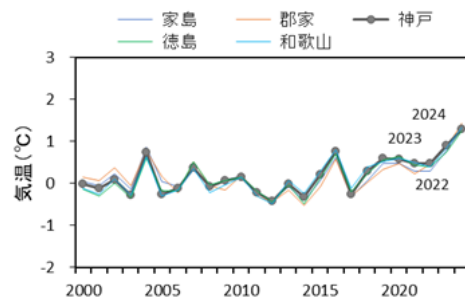


図-11 気温平年差（年平均）

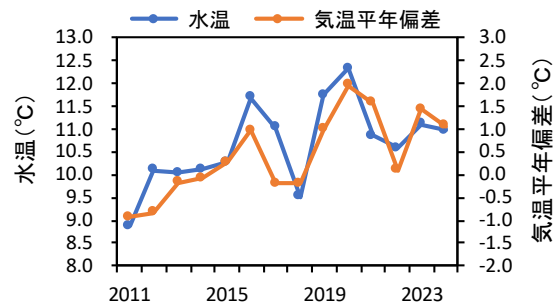


図-12 明石海峡の冬季平均の水温と気温の時系列

参考文献

- 1) 気候変動監視レポート 2023. URL
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/monitor/2023/pdf/ccmr2023_all.pdf
- 2) 日本水産資源保護協会, 1985. 水産生物の生物史と生態. 日本水産資源保護協会, 東京
- 3) 日本水産資源保護協会, 1985. 水産生物の生物史と生態 (続). 日本水産資源保護協会, 東京
- 4) 藤原建紀, 2013. 第2部第1章瀬戸内海の水温・塩分と海況変動. 海洋気象学会編, 瀬戸内海の気象と海象. 海洋気象学会, 神戸, pp. 37-61
- 5) 日本海洋データセンター. 海洋データ・プロダクト, J-DOSS, 定地水温データ
- 6) 気候変動監視レポート 2024. URL.
<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/monitor/index.html>

日本風景街道熊野の活動の継続に向けた 課題と展望

坂本 健斗¹

¹近畿地方整備局 紀南河川国道事務所 工務第二課 (〒646-0003和歌山県田辺市中万呂142)

日本風景街道熊野は、熊野古道を始めとした風景、歴史、自然など地域の魅力を道でつなぎ、地域と行政が連携した地域振興や観光振興を目指して活動を行ってきた。日本風景街道の登録から約18年が経過し、所属する団体の高齢化や団体の解散、コロナ禍等により活動が停滞・衰退しているなか、日本風景街道熊野が抱える現状の課題を整理し、活動を継続していくための計画を立案するものである。

キーワード 観光、道路利用促進、住民協力

1. はじめに

日本風景街道は、郷土愛を育み、日本列島の魅力・美しさを発見、創出するとともに、多様な主体による協働のもと、景観、自然、歴史、文化等の地域資源を活かした国民的な原風景を創成する運動を促し、地域活性化、観光振興に寄与し、国土文化の再興の一助となることを目的に平成19年に発足された。

日本風景街道熊野は、平成18年2月から日本風景街道の前身である「シーニックバイウェイ紀南」として活動を開始し、住民が主体となって、風景・歴史・自然など地域の魅力を道でつなぎ、訪れる人と迎える地域の交流を通じて、美しい景観形成、観光振興、コミュニティ形成などの幅広い効果を目指すことを目的として、平成19年11月に日本風景街道に登録されたと同時に名称を「日本風景街道熊野」に改称した。日本風景街道熊野の所属団体（以下、「活動団体」という。）は、令和7年7月現在で地域のNPO団体等24団体が所属しており、今日まで活動を継続している。しかし、活動に参加する団体が固定化されているうえ、活動団体数は年々減少し、活動参加者の高齢化が目立ってきており、活動への活力が低下してきている。

本稿では、日本風景街道熊野が抱える現状の課題を整理し、日本風景街道熊野の活動を継続していくための計画を立案するものである。

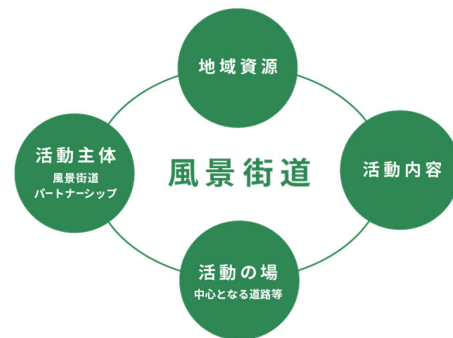


図-1 風景街道を構成する要素

2. 日本風景街道熊野の体制

日本風景街道熊野の活動エリアは、和歌山県の南部地域が対象で、熊野古道でいう中辺路ルート（山側）や大辺路ルート（海側）を含み広範囲である。所属する活動団体も広範囲にあり、地域間の連携が難しいところも特徴として挙げられる。

日本風景街道熊野の体制は、総会、推進協議会で構成されており、役員に会長、副会長、会計、活動推進委員の他、事務局（紀南河川国道事務所）で組織されている。推進協議会を年数回実施し、年間活動計画の立案や活動の実施を行っているほか、総会で年間活動計画の承認、活動の承認を行っている。活動資金は、主に年会費として1,000円を徴収し、各活動の実施にかかる際の費用などに充当している。

令和6年度に体制を見直し、令和5年度以前では推進協議会の下に活動団体が「活動部会」という「歴史」「観光」「環境・景観」の3部門に分かれ、活動団体の強みを活かした活動を立案し実施してきたが、活動団体

数の減少及び活動に参加する団体の固定化により、活動部会そのものが機能しなくなり活動部会を廃止した。活動部会に代わり活動団体の代表者から「活動推進委員」を選出し、活動計画の企画立案や活動の運営を行うこととした(図-2)。

さらに、周辺地方自治体との連携を強化することを目的として、令和6年度から日本風景街道熊野の周辺自治体(11市町村)のうちの2市町村を輪番制で「事務局協力団体」として選定し、活動の参加及び事務局運営の補助を担っている。令和6年度は田辺市と那智勝浦町を、令和7年度は上富田町と新宮市を選定した。

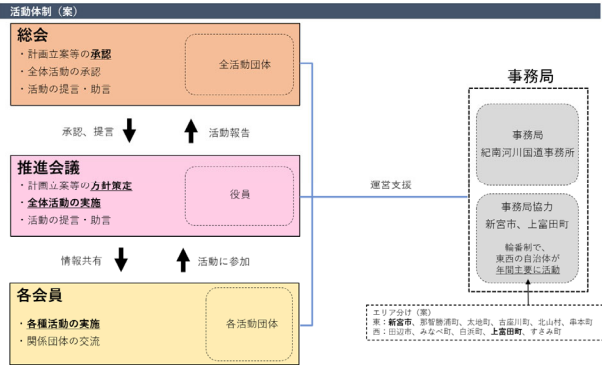


図-2 日本風景街道熊野の体制図



図-4 江田海岸清掃活動 集合写真



図-5 「熊野古道の魅力再発見ツアー」

3. これまでの日本風景街道熊野の活動

日本風景街道熊野の主な活動は、地域の清掃や植栽整備などの景観保全活動のほか、独自で作成した紀南地域の景勝地などを掲載した「よりみちマップ」の配布やSNSを活用した情報発信を実施してきた。活動団体の減少、活動に参加する団体の固定化が進んでいるなか、令和6年度は「紀伊山地の霊場と参詣道」が世界文化遺産登録20周年を迎えたことを踏まえ、熊野古道に特化した活動を企画し、熊野古道大辺路ルート周辺の江田海岸や田原湿地の清掃活動や活動団体間の交流を目的とした「熊野古道の魅力再発見ツアー」など精力的に活動を行った。活動団体や自治体の多くの方に参加いただくことができたが、普段参加していない活動団体を参加させることはできなかった。



図-6 マラソン大会における広報活動(よりみちマップの配布)

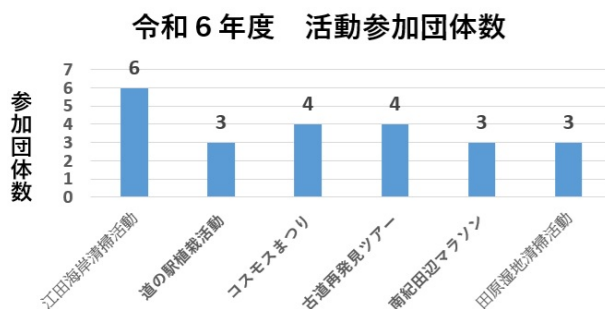


図-3 令和6年度 活動参加団体数

4. 持続的な活動を進める上での課題

日本風景街道熊野の設立から18年が経過した今日、設立当初で74団体あった団体数も、平成22年の88団体をピークに、令和7年7月現在では24団体にまで減少し、活動団体数の減少に歯止めがかかっていない(図-7)。活動団体の減少は、日本風景街道熊野のみに限らず、日本風景街道全体の課題となっている。さらに、活動団体メンバーの高齢化により、活動団体そのものの存続が危ぶまれることや、日本風景街道そのものの認知度が低いことなどが全国規模で課題となっている。

日本風景街道熊野 所属団体数の推移

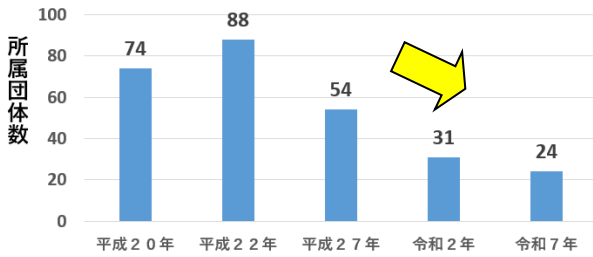


図-7 日本風景街道熊野 所属団体数の推移

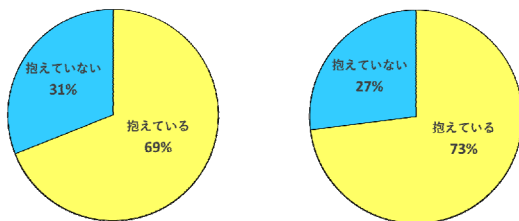
これらの実態を踏まえ、日本風景街道熊野では以前より抱えている課題を把握し、改善策を検討することを目的とし、全活動団体を対象にアンケート調査を実施した。このアンケート調査は、10年前（平成27年）に実施したアンケート調査の内容を踏襲しながらさらに質問を追加し、普段活動に参加できていない活動団体からの声を聞き、今後の活動計画に反映させることが狙いである。

アンケート調査の実施方法は、全活動団体に調査票を郵送配布し、回答後事務局へ返送していただく方法のほか、調査票に記載のQRコードを読み取り、WEBサイトより回答していただく方法を新たに導入した。これは、若年者から高齢者の方まで幅広く回答していただけるように、回答手続きの簡素化を図ったものである。

今回新たに活動団体メンバーの平均年齢を聞いたところ、56.5歳であった。普段から活動に参加していただいている会員の平均年齢は70歳を超えており、活動団体に比較的若い世代の会員が所属していることがわかった。

10年前のアンケート調査と同様に、貴団体について悩みや課題があるかの間に対し悩みや課題があると答えた団体が約7割に上り、その内訳も担い手不足や資金不足、会員の高齢化といった10年前と同じ課題を継続して抱えていることがわかった（図-8）。また、それらの課題解決のために取り組んでいることはあるかの間に対し、チラシなどによる会員募集の案内や団体独自のグッズ販売・団体のPR活動など、悩みや課題を解決するために取り組んでいることがあるとの回答があった。

貴団体について、課題や悩みを抱えていますか？



「抱えている」と答えた場合の具体的にどんな課題や悩みか？

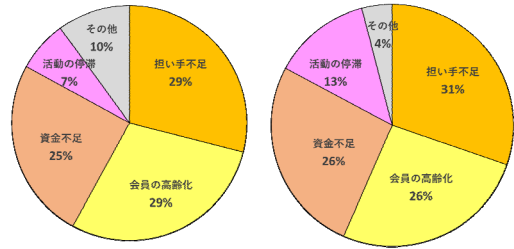


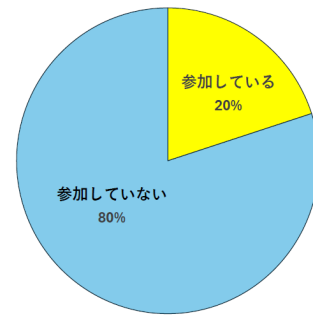
図-8 アンケート結果（1）

左：平成27年（前回実施分）

右：令和7年（今回実施分）

日本風景街道熊野の活動に普段から参加しているかの際に、参加していないと答えた活動団体は8割に上った。参加できていない理由の問に対し、都合が合わないと答えた活動団体も約8割に上った（図-9）。背景として会員の就業や活動団体自身の活動があることが考えられる。

日本風景街道熊野の活動に普段より参加していますか？



「参加していない」と答えた場合、その理由

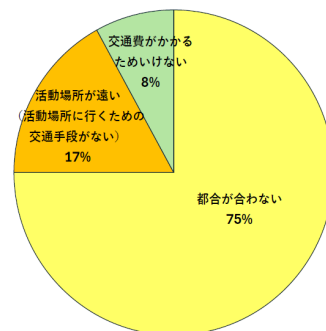
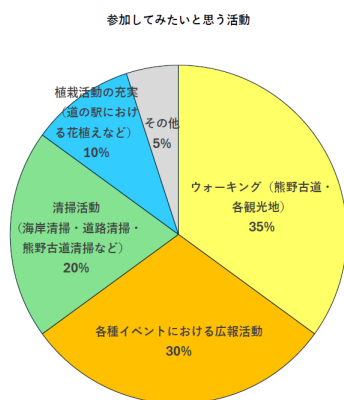


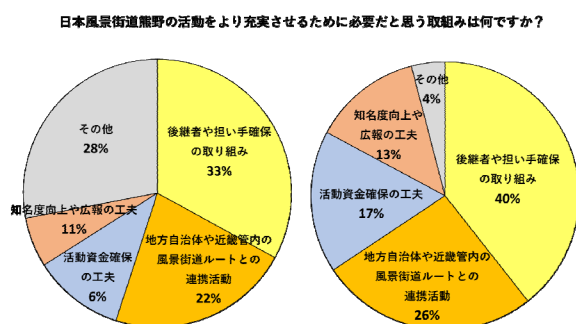
図-9 アンケート結果（2）（令和7年）

そこで、日本風景街道熊野の活動について、どんな活動であれば参加してみたいかの間に対し、熊野古道や各観光地におけるウォーキングが最も多く、次に各イベントにおいての広報活動が多い回答結果となった（図-10）。



図－１０ アンケート結果（３）（令和７年）

日本風景街道熊野の活動をより充実させるために必要な取り組みについての問では、担い手確保への取り組みが最も多く、次いで地方自治体や他風景街道ルートとの交流や連携が多いという結果は、１０年前と同様の傾向を示す結果であった（図－１１）。



図－１１ アンケート結果（４）

左：平成２７年（前回実施分）

右：令和７年（今回実施分）

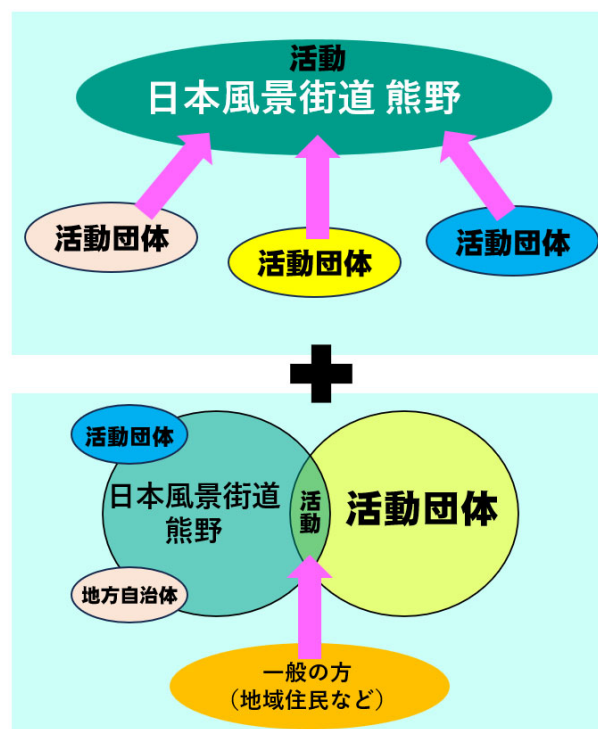
今回のアンケート調査結果から見る主な課題を整理すると、以下の３点が挙げられる。

- ①担い手不足（会員の減少）
- ②会員の高齢化
- ③活動資金不足

今回のアンケート調査結果より分かったことは、活動団体によっては比較的若い世代の会員も在籍していることや１０年前のアンケート調査と同様に課題が継続していること、活動団体が課題解決のための取組を実施していることがわかった。活動団体の現状を改善するため、日本風景街道熊野が支援を行う必要がある。

5. 課題に対する今後の展開・取組方針

前述のアンケート調査結果をふまえ、課題に対する今後の日本風景街道熊野の取組方針について考察する。これまで日本風景街道熊野の活動を活性化するにはどうすれば良いかや日本風景街道熊野の知名度向上に必要なことは何かに焦点を当てて活動を実施してきた。これまでの日本風景街道熊野独自の活動に加え、活動団体の活動を支援し、地域住民を巻き込んだ活動を行い、日本風景街道熊野及び活動団体の活性化や知名度向上を目指す（図－１２）。



図－１２ 今後の取組方針

以下に、各課題解決に向けた今後の取組を示す。

① 担い手不足の解決に向けた取組

これまで日本風景街道熊野の募集案内は、日本風景街道熊野のホームページや情報誌「よりみちマップ」に記載しているが、活動団体の増加には至っていない。今後は会員募集チラシの作成など積極的な募集を展開し、道の駅や周辺自治体と連携し、自治体の窓口等に配架することを計画している。また、活動団体単位での募集に加え、個人単位で会員を募集することを計画している。

② 会員の高齢化の解決に向けた取組

若年者世代の方に、活動団体やその活動内容について知っていただくことや活動に参加してもらうことを目的とし、活動の参加者を地域住民だけではなくボランティアサークルなどに所属している学生のほか、学校教育の一環として児童や生徒に参加していただく活動を実施す

ることや休日や平日など幅広く活動日を設定するなど、若年者世代が参加しやすい活動を実施する。また、活動報告などの広報について、インスタグラムだけではなく、YouTubeなどの動画サイトにも併せて投稿することで、若年者世代に広く広報を行う。

③活動資金不足の課題解決に向けた取組

活動資金の確保に向けて、現在、年会費の増額を検討しているところであるが、各会員より賛否両論の意見が出ているため、近畿建設協会公益事業である「地域づくり・街づくり支援事業」の支援金などを活用して、活動の拡大を図る。その他にも、活動に合った様々な助成・支援金を探し、積極的に申請を行っていく。

課題解決に向けた具体的な取組として、今年度では以下のような活動を計画している。

●熊野古道大辺路刈り開き体験

日 時（仮）：令和7年10月頃

場 所：和歌山県東牟婁郡串本町田子

協 賛：熊野古道大辺路刈り開き隊

日本風景街道熊野の所属している活動団体のうちのひとつに、「熊野古道大辺路刈り開き隊（以下、「刈り開き隊」という。）」という活動団体がある。刈り開き隊は、地域住民とともに熊野古道の道普請活動（以下、「刈り開き」という。）を定期的に行っていることから知名度は高いものの、他の活動団体と同様に会員の高齢化や担い手不足といった課題を抱えている。そこで、上記活動の参加者について、活動団体だけではなく一般の方に広く募集し、実際に自らの手で刈り開きを行うことにより、刈り開きの面白さに加え、熊野古道に愛着を持ってもらうことで再度刈り開きの活動へ参加したいと感じてもらうことを目指す。さらに、活動報告は複数のSNSサイトにて広報を行うことで、日本風景街道熊野や刈り開き隊についても広く知ってもらうことを目指す。

今後は、この刈り開き体験だけではなく、花植え体験や熊野古道のガイド体験など、各活動団体の強みを生かした活動を実施し、各活動団体を支援していくものとする。また、前述のアンケート調査結果より、熊野古道のウォーキング活動や各種イベントにおける広報活動など、参加してみたいと答えた割合が多かった活動も併せて実施していく。

6. まとめ

日本風景街道熊野の今後のあるべき姿について、10年ぶりにアンケート調査を実施したところ、10年前に抱えていた悩みや課題を継続して抱えていることがわかり、活動の参加団体についても固定化されているなか、それらの課題の解決に向けて、地域住民などの一般の方を巻き込んだ体験型の活動を実施しながら、各活動団体の強みを生かした活動を日本風景街道熊野が支援していく取組方針のもと、今後も活動を継続していく。

自動運転に資する路車協調システムについて ～大阪・関西万博アクセスルートへの実装～

川崎 雅和¹・中田 諒¹

¹阪神高速道路株式会社 保全交通部 交通技術課 (〒530-0005 大阪府大阪市北区中之島3-2-4)

自動運転車が車載センサのみでは得られない情報を、道路側に設置した専用機器が把握し、自動運転車へ提供することで、安全で円滑な自動走行を支援する路車協調システムを阪神高速淀川左岸線に実装した。また、自動運転車や合流支援情報提供システムから得られるログデータやカメラ映像等を分析し、合流支援情報提供システムによる効果を評価した。その結果、道路管理者の責任範囲として重要なシステムの処理時間等について、期待される性能を確認した。

キーワード ITS, 自動運転, 路車協調, 合流支援情報提供システム, 先読み情報提供システム

1. はじめに

高速道路での自動運転については、見通しが悪く加速区間の短い合流部や車載センサでは検知できない範囲で生じる事故や落下物等への対応が課題とされている。

国土交通省では、道路インフラと自動車が相互通信し情報を共有することで、車両単独では自動走行の継続が難しい場面の解決を図る協調ITSに関する官民共同研究¹⁾を実施し、阪神高速道路(株) (以下「当社」) は共同研究者としてこれに参画した。共同研究では、合流支援情報提供システムや先読み情報提供システム (以下「路車協調システム」) に関する技術仕様等を検討した。

当社では、当該技術仕様に基づき、2025年大阪・関西万博の来場者輸送を担うアクセスルート上に路車協調システムを実装し、自動運転バスに対して合流支援情報や先読み情報を提供することで、安全で円滑な自動走行を支援する実証実験を行っている。

本稿では、実証実験や路車協調システムの概要を示すとともに、自動運転バスや合流支援情報提供システムから得られたログデータやカメラ映像等を基に実施した合流支援情報提供システムの効果評価について報告する。

2. 実証実験の概要

本実験は、大阪市自動運転バス実装協議会²⁾の枠組みにおいて実施している。大阪市が全体計画や進捗管理、バス会社 (阪急バス(株)、京阪バス(株)) が自動運転バスの

運行管理、先進モビリティ(株)が自動運転バスに搭載する自動走行に必要な機器の整備や技術的検討、当社が路車協調システムの整備や技術的検討を担当している。なお、路車協調システムは、京阪バス(株)が運行する自動運転バス (写真-1) と連携しており、本稿はこれを対象とする。

自動運転バスは、阪神高速淀川左岸線 (西行) の大淀入口から大開入口付近までの約3.7kmの区間を自動走行する (図-1)。路車協調システムは、このうち3箇所の合流部 (上流側から大淀入口、海老江JCT、大開入口) に適用した。大淀入口から海老江JCTまでの約2.6kmは、万博関係車両に限定して暫定供用している区間 (2期区間) であり、海老江JCT以降の約1.1kmは、2013年に開通した一般車両も走行する区間 (1期区間) である。



写真-1 路車協調システムと連携する自動運転バス



図-1 阪神高速淀川左岸線 (西行) における実験区間

3. 路車協調システムの概要

(1) 合流支援情報提供システム

合流支援情報提供システムは、高速道路の合流部において、自動運転車の合流相手方車両の走行状況を道路側に設置した車両検知センサで把握し、自動運転車に情報提供するものである（図-2）。見通しが悪く加速区間が短い合流部において、合流相手方車両の速度や合流地点への到達計算時刻等を事前に情報提供することで、自動運転車が余裕をもって速度や合流のタイミング（位置取り）を調整することが期待できる。

本実験では、車両検知センサが任意の一定区間（検知範囲）で合流相手方車両の速度等を0.1秒間隔で複数回検知し、自動運転車へ連続的に情報提供するDAY2システムを採用した。また、自動運転車への情報提供方法については、LTE回線を用いた。

表-1及び図-3に本実験における合流支援情報提供システムの適用箇所と合流形態を示す。過年度の実証実験^{3,4)}

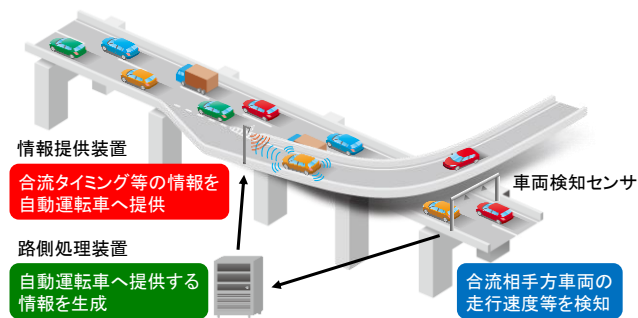


図-2 合流支援情報提供システムの概要

表-1 本実験での合流支援情報提供システムの適用箇所と形態

	大開入口	海老江JCT	大淀入口
合流形態	他車合流	車線変更	自車合流
検知対象	入口	本線部	本線部
車両位置	ランプ部	走行車線	本線部
自動運転バス位置	本線部	本線部	入口
		追越車線	ランプ部

では、大淀入口のように入口ランプ部を走行する自動運転車に対して、本線部を走行する合流相手方車両に関する情報を提供する形態（自車合流）を主な対象としてきた。本実験では、大開入口のようにその関係が逆転する形態（他車合流）や海老江JCTのように両者が走行する道路に主従関係がない形態（車線変更）も設定している点が特徴である。

(2) 先読み情報提供システム

先読み情報提供システムは、道路側のシステムが自動運転車の車載センサでは検知できない範囲の情報を自動運転車に前もって提供するものである。これにより、自動運転車が余裕を持って車線変更等することが期待できる。過年度の官民共同研究⁹⁾では、システムが対象とする情報として、路上障害情報、IC出口等の渋滞情報、料金所情報（レーン情報）を検討した。

本実験では、このうち、路上障害情報を自動運転バスへ提供するシステム（図-4）を交通管制システムに整備し、海老江JCTでの車線変更に活用している。交通管制システムで日常的に把握している事故や落下物、工事規制等の情報を自動運転車向けのフォーマットに変換し、1分周期で（障害発生時は随時）提供することで、自動運転バスは車線変更の予定位置に路上障害が発生している場合は、手前位置で車線変更を行わない等の判断を行う。また、自動運転車への情報提供方法については、合流支援情報提供システムと同様にLTE回線を用いた。

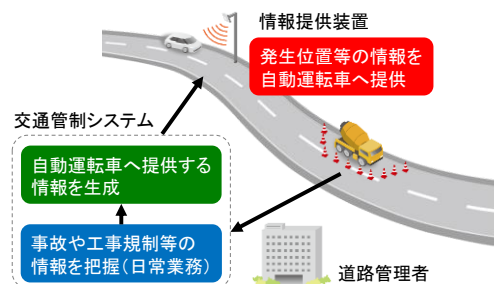


図-4 先読み情報提供システムの概要（路上障害情報）

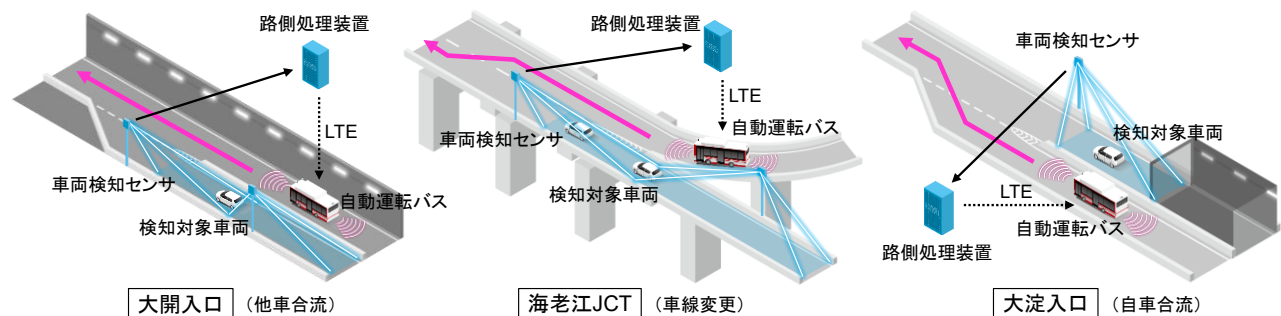


図-3 本実験での合流支援情報提供システムの適用箇所と形態

4. 評価方針と検証項目

路車協調システムの効果評価にあたり、過年度の検証実績や道路管理者としての役割等をふまえた以下の評価方針に基づき、表-2に示す検証項目を整理した。

(1) 過年度の検証をふまえた評価方針

本実験の路車協調システムは、過年度の官民共同研究¹⁾で整理した技術仕様に²⁾基づき設計した。当該技術仕様はシステムを構成する要素技術の成立性の確認を経て検討されているため、本実験では、基幹的な要素技術や、本実験で初めて適用される要素技術の検証によって、システムが実道においてサービスとして適切に成立したかを主に評価する。

(2) 道路管理者としての役割をふまえた評価方針

路車協調システムにおける道路管理者の責任範囲は、走行車両や路上障害を検知し、情報を生成し、それを自動運転車へ提供するまでの領域と考えられる。そのため、それらに関連する事項の検証は必須とする。

また、情報提供を受けた自動運転車の挙動による周辺車両や交通流への影響を確認することも、道路管理者にとって必要であると考え、検証対象とする。ただし、自動運転車の挙動については、あくまでも本実験で用いた特定の自動運転バスにおける結果であるため、分析するデータが車両の制御に依存する場合は留意が必要である。

5. 分析用データ

(1) 車両走行ログ

車両走行ログは、自動運転バスの走行状況を記録したデータである。自動運転バスの位置（緯度経度）、速度、加減速度、舵角、手動・自動走行の別、自動運転バスの前後を走行する車両の有無や相対距離等が0.1秒単位で記録されている。

(2) カメラ映像

カメラ映像は、以下の3種類の映像データである。

a) 自動運転バスの車載カメラ映像

自動運転バスの車載カメラによる前方映像、運転席上方に設置されたカメラによる自動運行従事者の手元映像のほか、車載センサによる検知結果が可視化された映像が記録されている。

b) 車両検知センサを構成するカメラ映像

本実験の合流支援情報提供システムで用いる車両検知センサは、電波レーダをメインセンサとし、これに精度向上を目的とした補助カメラを組み合わせて構築している。補助カメラにより、合流部付近における車両（主に合流相手方車両）の走行状況が記録されている。

c) 交通流監視カメラ映像

当社が道路管理に使用している交通流監視カメラ（ITVカメラ）により、合流部付近における車両の走行状況が記録されている。

表-2 検証項目の一覧

システム	形態	No.	検証項目	分析・評価方法	本稿で報告
合流支援 情報提供	車線変更	G-1	自動車線変更の成功割合	自動車線変更の回数／全ての車線変更回数 [車両走行ログ][カメラ映像]	○
		G-2	後続車への影響	自動運転車が車線変更後に後続車が減速していないか [車両走行ログ][カメラ映像]	
	自車合流 他車合流	G-3	自動合流の成功割合	自動合流の回数／全ての合流回数 [車両走行ログ][カメラ映像]	○
		G-4	後続車への影響	自車合流: 自動運転車の急減速挙動, 自動運転車が合流時の後続車(本線)の急減速挙動 [車両走行ログ][カメラ映像] 他車合流: 先行車合流時の自動運転車の急減速挙動, 自動運転車の後続車(本線)の急減速挙動 [車両走行ログ][カメラ映像]	
	共通	G-5	システムの処理時間 ◎	検知, 処理, 送信, 受信における所要時間 [センサ処理ログ][車載器受信ログ]	○
		G-6	車両検知率 ◎	適切に車両検知できているか [センサ検知結果][カメラ映像]	○
		G-7	情報信頼度	情報信頼度の出現状況[センサ検知結果]	○
先読み 情報提供	管制室から 自動運転車へ	S-1	事前受信, 挙動変化地点の変化	路上障害の手前位置で情報を受信できているか [車載器受信ログ] 情報を基に手前位置で車線変更や減速等できているか [車両走行ログ]	

◎は第4章 (2)で示す道路管理者の立場として必須と考えられる検証項目

[] 内は第5章で示す分析用データ

(3) センサ処理ログ

センサ処理ログは、合流支援情報提供システムの内部での処理時間を記録したデータである。車両検知に要した時間、自動運転車向けの情報生成（フォーマットへの変換）に要した時間、生成した情報を送信した時刻が記録されている。

(4) 車載器受信ログ

車載器受信ログは、自動運転バスの車載器から得られるデータである。車載器がLTE回線を通じて路車協調システムから情報を受信した時刻が記録されている。

(5) センサ検知結果

センサ検知結果は、合流支援情報提供システムの車両検知センサが検知した情報を記録したデータである。過年度の官民共同研究⁷⁾で定義した情報提供フォーマット（ID=57）に基づき、合流相手方車両個々の計測時刻、速度、車長、合流部までの距離・到達時刻、前方車両との車間時間等の情報が、0.1秒間隔で記録されている。

6. データ分析結果

本稿では、第4章で整理した検証項目の一部について、2025年2月19日から同年4月23日までに取得したデータの分析結果を示す。4月12日までは練習走行期間、4月13日以降は本番走行期間であり、2期区間（大淀入口付近）を走行する万博関係車両の交通量が少ない時期が含まれるため、海老江JCTと大開入口の結果を中心に報告する。

(1) 自動車線変更及び自動合流の成功割合（G-1、G-3）

車両走行ログやカメラ映像を用いて、合流支援情報提供を受けた自動運転バスの自動車線変更又は自動合流の成功割合を確認した。成功割合は、路車協調状態における全ての車線変更（合流）回数に占める自動車線変更（自動合流）の回数で算出した。手動介入等が生じ、自動走行が解除された場合は成功としない。

図-5に海老江JCTと大開入口における自動車線変更（自動合流）の成功割合を示す。いずれも9割以上成功しているが、それぞれ9.2%と1.7%の割合で手動介入が生

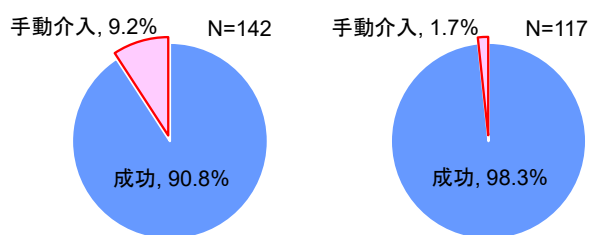


図-5 成功割合（左：海老江 JCT，右：大開入口）



写真-2 手動介入時のカメラ映像（海老江 JCT）

じていることを確認した。手動介入時の交通状況をカメラ映像から確認したところ、海老江JCTでは、写真-2に示すように合流相手方車両が自動運転バスと接近している状況が確認された。現時点では、手動介入の原因が路車協調システムによるものか、自動運転車によるものか不明であるため、今後、確認が必要である。

(2) システムの処理時間（G-5）

高速道路での合流挙動を対象とする合流支援情報提供システムは、高速処理が重要な要件である。センサ処理ログや車載器受信ログを用いて、システムの各段階（図-6）における処理時間の平均値やばらつきを確認し、処理速度の観点でサービスとしての成立性を評価した。本稿では、現時点で得られたデータに基づく車両検知センサ側（走行車両を検知してから、情報を生成し、生成した情報を送信するまで）の処理時間について報告する。

図-7に海老江JCTと大開入口のある一日における車両検知センサ側の処理時間を示す。データは車両検知センサが走行車両を検知している間に0.1秒間隔で記録されており、海老江JCTでは301,391件、大開入口では251,533件のデータが取得されている。1件あたりの所要時間はいずれも概ね90～160ミリ秒で分布しており、平均は120ミリ秒程度であることを確認した。

過年度の試験走路環境における検証⁹⁾では、車両検知センサで走行車両を検知するために10～100ミリ秒、情報を生成するために20～200ミリ秒を要することが確認されており、それらと概ね同等以上の水準である。また、当該検証では、システム全体の処理時間が最大500ミリ秒であることも確認されている。本実験では、現時点で通信側の処理時間は未確認であるが、LTE回線の通信遅延は一般的に10ミリ秒程度⁹⁾とされており、今後の検証で処理時間が大幅に増大する可能性は低いと考えられる。

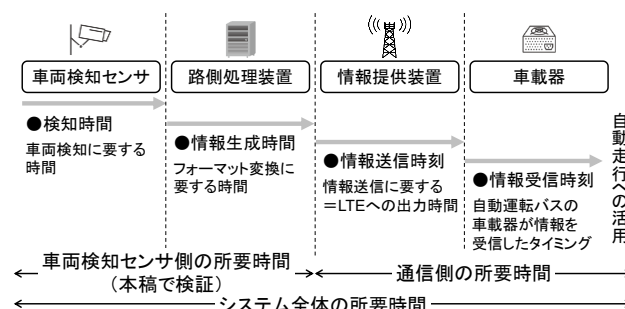


図-6 合流支援情報提供システムにおける処理時間

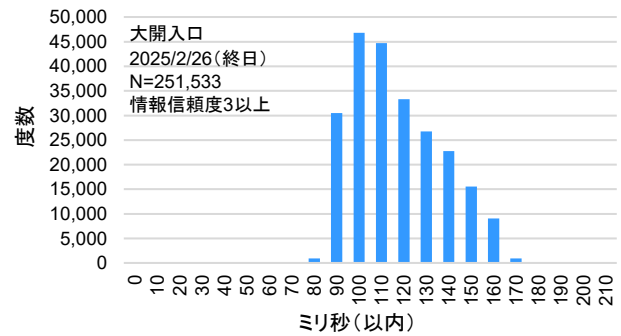
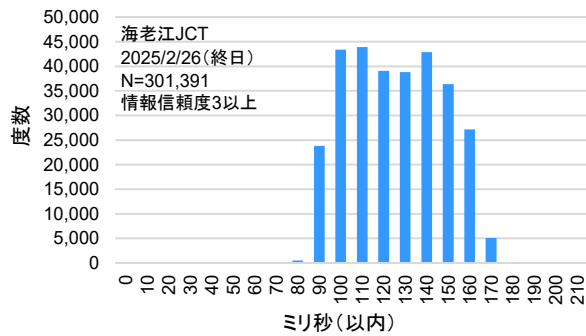


図-7 車両検知センサ側の処理時間 (左:海老江JCT, 右:大開入口)

(3) 車両検知率 (G-6)

合流支援情報提供システムの車両検知センサの検知精度については、過年度の実証実験⁹等で確認済みであるが、システムの基幹的要素技術であることをふまえ、本実験でも実道で構築されたシステムとして確認した。

海老江JCTと大開入口における時間あたりの検知対象車両の台数について、カメラ映像から読み取った真値とセンサ検知結果(検知台数)を天候別に整理した(表-3)。検知台数について、大開入口ではいずれの日も概ね真値と同じ台数であるが、海老江JCTでは真値と差が生じている日があることを確認した。

本実験における車両検知センサの設置位置については、大開入口はトンネル部である一方、海老江JCTは明かり部である。そこで、より天候の影響を受けやすいと考えられる海老江JCTでの車両検知率を天候別に整理した

表-3 箇所別・天候別の通過台数(真値)と検知台数

	日種	台数 A (真値)	台数 B (検知)	差 (B-A)
海老江 JCT	晴れ	160	160	0
	曇り	205	208	+3
	雨	216	212	△4
	雪・みぞれ	162	162	0
大開 入口	晴れ	57	57	0
	曇り	123	124	+1
	雨	107	107	0
	雪・みぞれ	78	78	0

単位: 台/時(検知範囲内の台数を集計),
晴れ: 2025年3月23日12時台, 曇り: 同年3月3日12時台,
雨: 同年3月5日12時台, 雪・みぞれ: 同年2月24日12時台

表-4 海老江JCTにおける天候別の車両検知率

区分	晴れ	曇り	雨	雪・ みぞれ
真値 ①通過台数	160	205	216	162
②検知台数	160	205	210	159
③正検知台数	160	204	209	159
④検知漏れ台数	0	1	7	3
⑤過検知台数	0	1	1	0
⑥車両検知率	100.0%	99.5%	96.8%	98.1%

単位: 台/時(検知範囲の下流端断面(ノーズ端)の台数を集計), 天候ごとの日付: 表-3と同じ,
④=①-③, ⑤=②-③, ⑥=③/①

(表-4)。車両検知率は、センサで正しく検知した台数(③)をカメラ映像から真値として読み取った台数(①)で除して算出した。その結果、晴れ(100.0%)や曇り(99.5%)の日に比べて、雨(96.8%)や雪・みぞれ(98.1%)の日は、検知率が低下する傾向を確認した。

過年度に実道環境(新東名高速道路)で5種類の車両検知センサを検証した事例⁹(晴れ, N=7,428)を基に、本稿と同じ方法で車両検知率を算出したところ、最も高いセンサで99.6%、最も低いセンサで84.0%であった。本実験で用いた車両検知センサは、基本的には高い検知性能を有していると考えられるが、雨等による車両検知率の低下がシステムのサービスレベルに及ぼす影響を確認する必要がある。

(4) 情報信頼度 (G-7)

合流支援情報提供システムの情報提供フォーマットでは、合流相手方車両の合流部(ノーズ端)への到達計算時刻情報に情報信頼度を付与することができる(ID=57, No.59)。本実験では、車両検知センサの機器構成(図-8)をふまえ、0~5の情報信頼度を定義した(表-5)。なお、自動運転バスは信頼度が3以上の情報を自動走行に活用することとしている。

センサ検知結果から、海老江JCTにおけるノーズ端からの距離別の情報信頼度の分布を整理した(図-9)。上流110m付近からノーズ端までは、概ね9割以上の割合で信頼度3以上の情報が提供されているが、一部区間ではその割合が低下することを確認した(A: 112~130m, B: 90~95m, C: 79~83m, D: 64~70m付近)。

情報信頼度が低下する原因について、Aは現場条件から、高欄上に設置されているメッシュフェンスが車両の

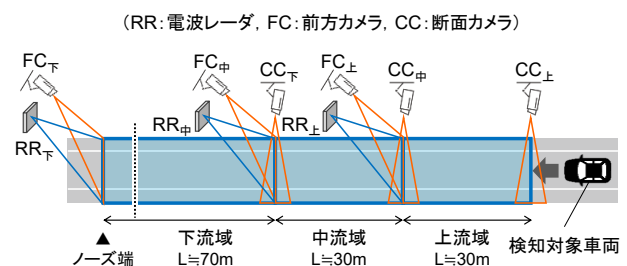


図-8 本実験で用いる車両検知センサの構成(海老江JCT)

表-5 本実験の合流支援情報提供システムの情報信頼度の定義

信頼度	定義
0	電波レーダで検知なし／前方又は断面カメラの少なくとも一方で検知
1	電波レーダで検知あり／前方及び断面カメラのいずれも検知なし
2	電波レーダで検知なし／前回までに電波レーダと前方又は断面カメラの少なくとも一方で検知あり（一部推定）
3	電波レーダで検知あり／前方又は断面カメラのいずれか一方の検知結果と結合
4	電波レーダで検知あり／前方及び断面カメラのいずれの検知結果とも結合
5	複数エリアの電波レーダで検出あり／前方及び断面カメラのいずれの検知結果とも結合

検知に干渉し、特に高さの低い車両が認識されづらい状況となっている可能性が考えられる。また、B及びDは、3分割しているセンサ検知範囲の境界付近であることから、システム内部での検知結果の結合処理による影響が考えられる。Cの原因は、現時点で不明である。

今後、情報信頼度が低下する原因を詳細に分析するとともに、信頼度が情報提供を受けた自動運転バスの制御に与える影響を調査する必要がある。

7. まとめ

本稿では、阪神高速淀川左岸線で実施している自動運転バス実証実験と路車協調システムの概要を示すとともに、自動運転バスや合流支援情報提供システムから得られたログデータやカメラ映像等を基に実施した合流支援情報提供システムの効果評価について報告した。

現時点で得られたデータに基づき、自動車線変更（自動合流）の成功割合、システムの処理時間、車両検知率、情報信頼度について検証したところ、道路管理者の責任範囲として重要であるシステムの処理時間や車両検知率について、過年度の検証実績とも比較のうえ、システムに期待される性能を確認することができた。また、現場

条件等が提供情報の信頼度に影響する可能性があることも確認することができた。

今後は、2025年内を目途に、未検証の項目を含む一連の分析・評価を完了させ、中間とりまとめを行う予定である。

自動運転の実用化については、交通事故の低減、渋滞の解消・緩和、少子高齢化への対応や生産性の向上等に資するものとして期待されているところである。本実験で得られた知見を地域の活力へとつなげるべく、引き続き取り組んでいきたい。

謝辞：本実験の実施や検証計画の策定等にあたり、技術指導を賜りました国土交通省国土技術政策総合研究所道路交通研究部高度道路交通システム研究室様に謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所：次世代の協調 ITS の実用化に向けた技術開発に関する共同研究報告書，国土技術政策総合研究所資料，No.1245，2023。
- 2) 大阪市自動運転バス実装協議会：協議会について，大阪市計画調整局計画部都市計画課。
<https://www.city.osaka.lg.jp/toshikeikaku/page/0000588053.html>
(2025年7月31日閲覧)
- 3) 中川敏正，関谷浩孝，中田諒，花守輝明，藤村亮太：東京臨海部実証実験による合流支援情報提供システム（DAY1 システム）の検証，交通工学論文集，Vol.8，No.1，（一社）交通工学研究会，pp.39-48，2022。
- 4) 中川敏正，井坪慎二，関谷浩孝，石原雅晃，湯浅克彦，花守輝明，中田諒，藤村亮太：合流支援情報提供システム（DAY2 システム）の効果検証実験，土木学会論文集・特集号（計画学），Vol.79，No.20，（公社）土木学会，2023。
- 5) 総務省情報通信審議会情報通信技術分科会：次世代モバイル通信システム委員会報告概要，p4，2017。
https://www.soumu.go.jp/main_content/000525136.pdf
(2025年7月31日閲覧)
- 6) 中川敏正，関谷浩孝，中田諒，花守輝明，藤村亮太：合流支援情報提供システム（DAY2 システム）の車両検知センサの計測精度に関する基礎検討，交通工学論文集，Vol.8，No.1，（一社）交通工学研究会，pp.49-58，2022。

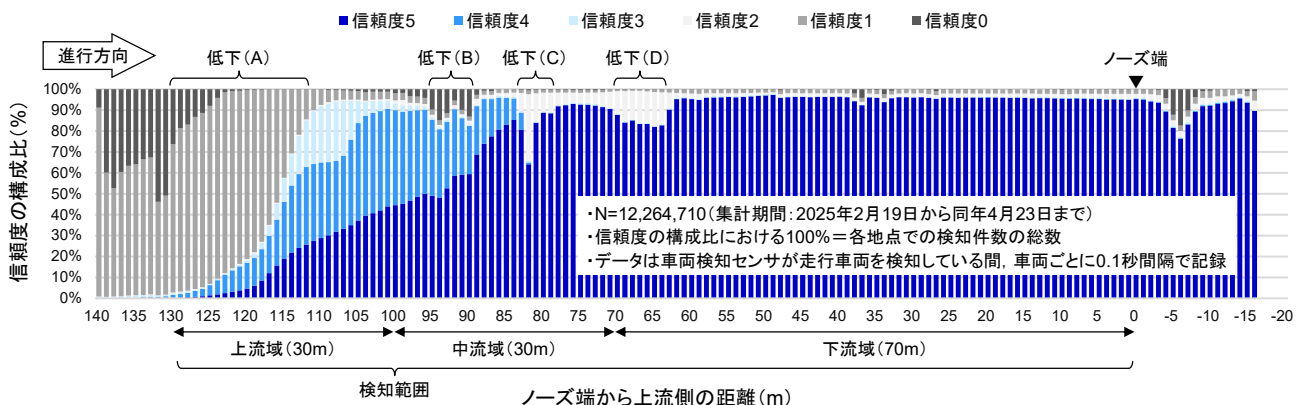


図-9 海老江JCTにおけるノーズ端からの距離別の情報信頼度の分布