

2024 年度（2024M-022）

多目的型地下インフラモデルの調査研究

報告書
【 第Ⅲ部 】

人流、物流の特性を踏まえた地下インフラ構築
に関する調査研究（第 3 部会）

2025 年 3 月

一般財団法人エンジニアリング協会
地下開発利用研究センター



競輪の補助事業

この報告書は、競輪の補助により作成しました。

<https://jka-cycle.jp>

この報告書は「第Ⅲ部」です。

「第Ⅰ部～第Ⅳ部」はエンジニアリング協会ホームページよりダウンロードできます。

以下のアドレスまたは QR コードから、当協会の JKA 補助事業調査研究報告書のページにアクセスして、2024 年度補助事業をクリックして下さい。

<https://www.ena.or.jp/information/jka-subsidy-business>



序

本報告書は、公益財団法人 JKA より機械振興補助事業の補助を受け、一般財団法人 エンジニアリング協会 地下開発利用研究センターが実施した 2024 年度「多目的型地下インフラモデルの調査研究」の成果を報告書（第Ⅰ部～第Ⅳ部）として取りまとめたものです。

エネルギー・食料の安定供給確保、激甚化する自然災害への対応、国際関係の不安定さから生じる他国からの脅威や地政学的リスクの回避といった社会経済的課題に直面する我が国において、産業界はこれらの課題に即応する戦略が求められています。

こうした産業界のニーズを受けて、地下開発利用研究センターでは、少子高齢化に伴う生産年齢人口の減少や国内需要の減少、それに伴う経済規模の縮小といった社会情勢にも目を向けながら、社会インフラの課題解決に向けて幅広く 産・学・官の英知を集めて調査研究を実施しています。社会的諸問題の解決や将来の望ましい社会システムの構築等に資するために、これまでの新技術・各種システムに関する調査研究成果の蓄積も踏まえながら、2024 年度は、我が国が整備すべき「多目的型地下インフラモデル」の提言を目指して調査研究を行いました。

これからの地下インフラは、地上に比べ安定した環境で運用することができる地下空間の特性を活かし、建設技術だけでなく急速に普及する AI を含めた情報化技術を基に、生活基盤としてのエネルギーシステム、災害時の避難・備蓄システム、人流・物流システム等の多様なシステムや技術を組み込んだ多目的で多機能な施設であることが求められます。

本調査研究の実施にあたっては、地下開発利用研究センターの研究企画委員会の下で、「地下利用推進部会」の中に「生活基盤等の安全保障に資する地下インフラの運用に関する調査研究」、「備蓄と避難に対応するシェルターとしての地下インフラに関する調査研究」、「人流、物流の特性を踏まえた地下インフラ構築に関する調査研究」および「地下インフラモジュールの基本構造と構築技術に関する調査研究」をそれぞれ担当する 4 つの部会を設けて調査研究を行い、報告書（第Ⅰ部～第Ⅳ部）として取りまとめました。

最後に、本報告書の成果がこれからの時代における地下インフラの再構築の検討に活用されることを切望しますとともに、この事業にご協力いただいた関係各位に対して心から謝意を表します。

2025 年 3 月

一般財団法人エンジニアリング協会
理事長 石俣 行人

人流、物流の特性を踏まえた地下インフラ構築に関する調査研究
(第 3 部会)

委員名簿

部 会 長	笠 博義	(株)安藤・間	技術研究所 シニアリサーチャー
副部長	河田 浩史	三井住友建設(株)	土木本部 土木営業部 課長
委 員	三石 晋	応用地質(株)	D X 推進本部 地下埋設物探査プロジェクト室 専任職
委 員	高萩 啓生	(株)技研製作所	工法事業部 部長
委 員	渡辺 慎太郎	基礎地盤コンサルタンツ(株)	設計本部 海外設計部 課長
委 員	市原 和彦	佐藤工業(株)	土木事業本部 営業推進部 部長
委 員	西家 翔	(株)竹中工務店	技術研究所 地盤・基礎 2 グループ
委 員	上田 正人	中央開発(株)	事業本部 顧問
委 員	堂園 浩一	鉄建建設(株)	土木本部 エンジニアリング企画部 担当部長
委 員	平野 孝行	西松建設(株)	土木事業本部 土木設計部 シニアマイスター
オブザーバー	高橋 里美	西松建設(株)	土木事業本部 土木技術部 技術課
事 務 局	武井 孝	(一財)エンジニアリング協会	地下開発利用研究センター 技術開発部 研究主幹

活動内容

本部会は将来の人流・物流の特性変化に対応する新たな地下インフラ構築および既設インフラの転用の可能性について調査研究を行う。

2024年度は2年間の研究の成果として、地球温暖化など人間の生活環境に大きな影響を与える自然環境の変化、人口や産業構造や生活スタイルの変化など基礎的な将来予測を行うと同時に、社会構造の変化にも大きな影響を与える技術革新の動向を調査した。

具体的には、さまざまなデータに基づいて予測された未来社会の状況を、主に公的な機関による資料をもとに整理し、こうした検討結果を受けて、人の動きや交通体系の変化と、物流のシステムや量的な変化などを予測した。

部会は下表のとおり7回開催した。また、現地調査・ヒアリングとして、現在の物流を調査するために「博多港」を、近代の鉄筋コンクリート高層構造物であり、近代建設技術史上、価値が高い文化財として「旧志免鋳業所堅坑櫓」に対して現地調査およびヒアリングを実施した。

表 第3部会の活動状況

回	開催日	主要議事
第1回	2024年5月20日	・2024年度の活動テーマについての討議
第2回	2024年6月24日	・部会の進め方について討議 ・現地視察先について検討
第3回	2024年8月2日	・調査研究内容検討
第4回	2024年9月24日	・報告書の目次案と担当の調整 ・現地視察の調整について討議
第5回	2024年10月28日	・報告書の目次案と担当の調整 ・現地視察の調整について討議
現地調査 ヒアリング	2024年11月14日 ～11月15日	・博多湾、志免町旧志免鋳業所 堅坑櫓現地調査・ ヒアリングを実施
第6回	2024年12月11日	・報告書執筆の進捗状況確認と内容協議 ・報告書の各委員執筆内容の確認
第7回	2025年1月28日	・報告書執筆の進捗状況確認と内容協議 ・報告書の各委員執筆内容の確認

多目的型地下インフラモデルの調査研究 報告書

【本編 第Ⅲ部】

人流、物流の特性を踏まえた地下インフラ構築に関する 調査研究

目 次

2024 年度地下利用推進部会 第 3 部会 委員名簿

活動内容

1. 調査研究の経緯・方法	1
1.1 調査研究の方針	1
1.2 調査研究の内容	2
1.3 調査研究の状況	2
2. 2050 年の社会予測	5
2.1 自然環境・社会構造の予測	5
2.1.1 自然環境（気候変動）の変化	5
2.1.2 人口動態と社会構造の変化	10
2.2 社会課題解決のための技術動向	14
2.2.1 国土インフラの整備	14
2.2.2 社会課題解決のための技術革新	15
3. 人流の特性を踏まえた地下インフラ-MaaS により制御された安全・安心・快適 な人流システム	20
3.1 2050 年に求められる人流の在り方とは	20
3.2 生活における人流	26
3.2.1 陸海空のモビリティを連携した MaaS	26
3.2.2 高齢者の移動確保のためのモビリティと MaaS（都市と地方）	30
3.2.3 地下街等人口密集地における安全・安心・快適な人流（新設と改造）	36
3.2.4 都心ターミナルにおける人流特性を踏まえた地下インフラ	40
3.3 観光における人流	42
3.3.1 我が国の観光施策の概要	42
3.3.2 観光地の創生・再生事業における地下空間の活用	46
3.3.3 オーバーツーリズム対策としての周辺観光地・周遊型観光への誘導を 目的とした地下空間活用と MaaS	48
4. 物流の特性を踏まえた地下インフラモデル	52
4.1 2050 年に求められる物流とは	52
4.2 都市間物流	61

4.2.1 大型物流基地	61
4.2.2 物流専用交通ネットワーク（新設物流トンネル、既設道路・鉄道の改築）	71
4.2.3 結節点拠点ターミナル（新設拠点、既存サービスエリア等の改築）	73
4.2.4 スマート物流(量子コンピューティングによる物流最適化)	74
4.3 都市内物流-ファースト・ラストワンマイルに対応する物流システムの構築	79
4.3.1 ファースト・ラストワンマイル物流システム	79
4.3.2 集合住宅・大型施設内での物流	81
5. 調査研究の結果と課題	83
5.1 調査研究結果のまとめ	83
5.2 今後の課題	89

図目次

図 1-1	羽田クロノゲート前にて	3
図 1-2	香椎パークコンテナターミナルにて	3
図 1-3	旧志免鉱業所竪坑櫓にて	4
図 2-1	IPCC AR6 における世界平均気温の予測(1850 年～1900 年基準)	5
図 2-2	大雨の年間発生回数	6
図 2-3	近年の気象災害の例	6
図 2-4	年限付きカーボンニュートラルを表明した国・地域	8
図 2-5	2022 年度の CO2 排出量の内訳	9
図 2-6	日本の人口の推移	10
図 2-7	都道府県別 65 歳以上人口の割合 ¹¹	11
図 2-8	2050 年の人口増減	11
図 2-9	家族類型別一般世帯数の推移.....	12
図 2-10	訪日外国人旅行者数・出国日本人数の推移	12
図 2-11	アジア諸国の一人当たり GDP の推移	13
図 2-12	Society5.0 の概念図 ¹⁵	13
図 2-13	全国的な回廊ネットワークのイメージ.....	15
図 2-14	日本中央回廊のイメージ	15
図 2-15	量子技術活用イメージ.....	17
図 2-16	自動運転小型電動カート	19
図 3-1	人口分布の予測	21
図 3-2	MaaS とは	23
図 3-3	MaaS の市場予測（国内）	24
図 3-4	MaaS の市場予測（世界）	24
図 3-5	日本版 MaaS の実現.....	26
図 3-6	日本版ライドシェア運行開始地域(2024.8.31 時点).....	27
図 3-7	自動運転車 e-Palette.....	32
図 3-8	空飛ぶ車「SD-05」	34
図 3-9	空飛ぶ車の運航支援	36
図 3-10	地下街の人流・気流システム制御のイメージ	37
図 3-11	東京駅前 3 地区再開発事業	38
図 3-12	高速バスターミナルと地下通路のイメージ	38
図 3-13	2040 年の道路の景色	40
図 3-14	小型・高密度輸送システム	40
図 3-15	都心ターミナルにおける未来の地下インフラ	41
図 3-16	外国人観光客の受け入れ数（2022 年）	43
図 3-17	外国人観光客の受け入れ数（2022 年）	44

図 3-18	志免炭鉱遺構	46
図 3-19	観光資源として活用が期待される産業遺産の例	47
図 3-20	周遊型観光での MaaS の活用と未利用観光資源の活用	48
図 4-1	物流 MaaS のイメージ	52
図 4-2	ロジスティクスにおける 6 つのフェーズ	53
図 4-3	サプライチェーンマネジメント	54
図 4-4	輸送管理システム (TMS) イメージ	55
図 4-5	自動配送ロボットの実運用開始	56
図 4-6	自動物流道路イメージ	57
図 4-7	自動仕分けのイメージ	57
図 4-8	物流工程に関係するシステム	58
図 4-9	新名神道路で計画中の高速道路直結物流拠点	59
図 4-10	2050 年に求められる物流のイメージ	60
図 4-11	自動物流イメージ	61
図 4-12	物流モードのシームレスな連結	62
図 4-13	自動物流道路における荷役～入荷から出庫～	63
図 4-14	物流標準化の例 (その 1)	63
図 4-15	物流標準化の例 (その 2)	64
図 4-16	脱着中のスワップボディコンテナ車両	64
図 4-17	大規模物流基地間の連携構想の一例	65
図 4-18	物流モーダルコネクットのイメージ例	66
図 4-19	地下物流システムのイメージ	67
図 4-20	地下立体駐車場	68
図 4-21	港湾ターミナル荷役クレーン	68
図 4-22	鉄道貨物ターミナルインランドデポへの適用	69
図 4-23	バスターミナル東京八重洲	70
図 4-24	首都高速八重洲線と八重洲パーキング	71
図 4-25	道路空間の利活用イメージ	72
図 4-26	スイス C S T	73
図 4-27	イギリス MAGAY	73
図 4-28	我が国が掲げる物流課題	75
図 4-29	スマート物流サービスが目指す世界	76
図 4-30	運搬計画最適化プロジェクトイメージ	77
図 4-31	トラック積載計画表イメージ	77
図 4-32	最適な廃棄物収集ルート of の解析イメージ	78
図 4-33	自動配送ロボットの例	79
図 4-34	ドローンを活用した医薬品配送	80
図 4-35	30kg の資材を運搬可能なドローン	81

図 4-36	ドローンと自動配達ロボットを用いた物流システム	81
図 4-37	ロープウェイ型自動配送ロボット	82
図 4-38	高層マンション内を走行する自動配達ロボット	82
図 5-1	調査・研究の枠組み	84
図 5-2	都心部における地上地下一体型ターミナルのイメージ（図 4-10 再掲）	87
図 5-3	MaaS により高度に制御された物流のイメージ（図 4-10 再掲）	88

表目次

表 2-1	近年の代表的な気象災害の被害	6
表 2-2	気候変動による治水計画・海岸保全への影響予測	7
表 2-3	パリ協定の概要	7
表 2-4	パリ協定に基づく主要各国の目標 ⁹	8
表 2-5	都道府県別総人口の推移	11
表 2-6	各分野における DX 化の効果	18
表 3-1	都市と地方における MaaS 導入の比較	25
表 3-2	空飛ぶ車の中長期的な実装の流れ	35
表 3-3	旅行・観光開発ランキング（2024 年）	45

1. 調査研究の経緯・方法

1.1 調査研究の方針

本研究では、我が国における将来の人流・物流の特性変化に対応する地下インフラの構築および既設インフラの転用の可能性について調査を行うこととする。

想定する将来としては、一定程度の妥当性を有し、同時に現在とは明確な変化が生じていることが見込まれる時期として、2050 年を設定した。これは、以下の二つの理由によるものである。

現在から約 25 年後であり、気候変動や人口の推移などさまざまな予測資料が入手可能である。

現在の各種インフラのうち、戦後から高度経済成長期に整備された各種インフラが構築後ほぼ 100 年を迎え、順次更新され、同時に近年進む都市の再開発事業によるインフラは現役の構造物として利用されていると想定される。

ここで、2050 年の社会インフラは、高度経済成長期である 1970～80 年代とは異なり、道路や鉄道、上下水道などを、何もない状態から「新たに構築」するのとは異なり、既存の構造物やシステムを「活用しながら再構築」しなければならないという特徴を有する。加えて、確実に進行すると考えられる地球温暖化や国内における少子高齢化と人口減少による社会構造の変化を十分に考慮したうえで、インフラの在り方をデザインしていく必要がある。

本研究の対象は、「地下インフラ」を主体とするものの、近年の人流・物流自体が、陸海空における多様な移動空間を有機的に連携していることから、地下インフラに接続する地上・水上・空中のインフラおよび移動体（モビリティ）も検討の対象とするものとする。具体的には、都市部のターミナルビルを例にとってもわかるように、近年の地下街は地上の高層ビルや街区と一体として整備されているように、単純に地下構造物単独ではなく、空間的にも機能的にも密接に関係した構造物群によりインフラが構成されているためである。

なお、対象とする地域としては、地下空間の活用が必要とされる大都市近郊を中心とするが、人流の検討においては部分的に地方における観光資源としての地下構造物も、物流においては、都市間物流インフラとしての鉄道や高速道路に付随する地下設備も検討対象とする。

1.2 調査研究の内容

本調査研究では、昨年度実施した 2050 年をターゲットとした将来予測結果¹を整理し、自然環境や人口動態の変化を念頭においた人流ならびに物流の在り方を検討することとした。将来予測を行う上では、温暖化や少子高齢化および人口減少といった課題を解決し、乗り越えていくための技術革新の動向に注目している。これは、労働力不足に対する解決策を例にとると、外国人労働者の活用など政策的な方法も考えられるものの、こうした側面からの検討は、政治的な要素が大きく、その影響を評価することが困難であるためである。

こうした前提条件において、2050 年に求められる人流および物流について検討を行った。人流では、大きく「生活における人流」と「観光における人流」に分類し、いずれにおいても多種多様な関連情報を共通の情報プラットフォームで統合的に管理・分析する MaaS を高度に活用した姿が検討された。一方、物流においても物流 MaaS と呼ばれる情報管理の概念を導入し、極めて効率的に多品種少量の物流も可能となる将来のイメージを描き出すこととした。

こうした検討結果は、わかりやすいイメージとして取りまとめ提示すると同時に、こうした将来を実現する上で解決すべき課題について最後に整理している。

1.3 調査研究の状況

本調査研究を進めるに際して、昨年度は公的な統計資料や民間の研究調査資料などを整理し、分析を中心に行ったが、今年度は最新の物流の拠点として、大型貨物埠頭に隣接するコンテナヤードと空港に隣接する部大型物流センターを見学し、人流に関しては潜在的な観光資源として捉えることができる産業遺産（石炭採掘関連施設）を見学した。さらに、人流・物流に共通するインフラである高速道路の将来的なあり方について、有識者のご講演を行った。

以下に各施設見学ならびに講演の概要をまとめて示す。

(1) 羽田クロノゲート

地下利用推進第 3 部会は、今年度の研究テーマ「2050 年の人流、物流」に関連して、9 月 19 日（木）に東京都大田区にあるヤマト運輸(株)羽田クロノゲートを見学した。

羽田クロノゲートは全国に 70 か所あるヤマト運輸(株)のベース機能の一つであり、沖縄、関西、中部、厚木などのハブ施設と連携し、国内外でのネットワーク拠点となっている。羽田という立地を活かし、陸海空の物流結節点となっており、また仕分けエリアだけでなく付加価値ゾーンも有している。見学当日は、ヤマトグループの歴史の紹介と

¹ 一般財団法人エンジニアリング協会地下開発利用研究センターHP：2023 年度多目的地下インフラモデルの調査研究報告書(参照 2024.12)

<https://www.ena.or.jp/?fname=gec2023-p1-3.pdf>

ヤマトグループ PR 動画の視聴後に、荷物の仕分けの状況を見学者通路から見学した。

荷物に貼り付けられた伝票のバーコードはスキャナで自動的に読み取られ（上面、全面、左右側面の 4 面での読み取り可能）、10km/h で移動するクロスベルトソータ（全長 1070m）に自動的に載せられる。クロスベルトソータは全部で 1,336 枚の幅 80cm 程度の「セル」で構成されており、荷物は 1 セルに 1 個乗せられる。各セルの荷物は自動的に行先別のシュータに送られ仕分けされていた。ここでは 1 時間当たり 48,000 個の荷物の仕分けが行える。また、集中管理室の多数のモニタで荷物の状況を把握し、状況やトラブルに対して都度指示を出している。

展示ホールでは、床面のプロジェクションマッピングにより荷物が届くまでの流れが紹介され、集荷に用いられているシステムを疑似体験することができた。

羽田クロノゲートの敷地には、物流拠点のほかに、一般の市民も使用できる施設（ヤマトフォーラム（体育館）、保育所、カフェ）なども併設されており、地域貢献の一翼を担っていた。



図 1-1 羽田クロノゲート前にて

(2) 博多港見学（一般社団法人博多港振興協会）

博多港について、現在の物流を調査するために「博多港ポートガイド」の方にご案内していただいた。

博多港の貨物取扱量はリーマンショックの影響を受け 2009 年は落ち込んだものの、近年は約 3,100～3,500 万トンで推移している。

博多港ベイサイドミュージアムにて現在の状況、博多ポートタワーで地上 70m から博多湾のロケーションについて教えていただき、香椎パークポートコンテナターミナルでは屋上より荷



図 1-2 香椎パークコンテナターミナルにて

揚揚げ状況を見学しながらご説明いただいた。香椎パークポートは 365 日 24 時間稼働しており、コンテナターミナルではストラドルキャリアが一糸乱れずコンテナピックアップをされていて、トラックに荷下しがなされていた。このストラドルキャリアの一部の車両ではハイブリッド化されている。現在は、指令所から送られてくるデータをもとに有人でピックアップ作業を行っているが、海外では無人化されている場所もあるとのことだった。このようなクロースドな環境から日本も今後さらに自動化が進むものと思われる。

(3) 旧志免鋁業所竪坑櫓（志免町）

旧志免鋁業所竪坑櫓は、福岡県糟屋郡志免町にある。福岡空港の東側に位置し博多駅からバスで 20 分の場所に所在している。櫓と周辺の歴史を志免町の方に説明していただいた。この櫓は、艦船用石炭および海軍工廠等で使用する工場用石炭の採掘施設として、第四海軍燃料廠採鋁課の計画および設計に基づき、昭和 16～18 年にかけて建設された。

櫓は「塔櫓巻型」と言われ、「ワインディングタワー」と称される。石炭や労働者の運搬用のかごを昇降させる巻上機を櫓上部に設置する形式である。わが国における近代の鉄筋コンクリート構造物の中でも有数の高さを誇る高層構造物であり、近代建設技術史上、価値が高い文化財で、国の重要文化財に指定されている。この櫓の真下にまっす

ぐ掘られた深さ 430m の「竪坑」により、地下からの石炭の揚重や、地下の石炭層までの鋁員の移動が行われていた。中の見学は安全上の理由から実施されていないが、櫓だけでなく周辺には当時の面影がまだ街並みに残っており、博多駅から近いこの場所に戦前の昭和の歴史がしっかり残っていた。



図 1-3 旧志免鋁業所竪坑櫓にて

2. 2050 年の社会予測

2.1 自然環境・社会構造の予測

2.1.1 自然環境（気候）の変化

近年の地球温暖化の進行によって、世界の平均気温は、工業化以前から約 1℃高くなるなど、これまで経験したことのない速度で上昇している。そして、この気候変動に伴い、世界中で気象災害の激甚化・頻発化が報告され、2015 年に採択されたパリ協定では、世界共通の目標として、平均気温の上昇を 1.5℃に抑える努力を追求することが掲げられた。

こうした中で、我が国においては、2050 年カーボンニュートラル実現を目指して、脱炭素化に向けた温室効果ガス（GHG）削減の取組が加速化しており、2050 年における交通・物流分野は、グリーントランスフォーメーション（GX）に係る取組により、大きく変革していることが予想される。

(1) 気候変動の将来予測

近年の世界の気候について、IPCC 第 6 次評価報告書（AR6）では、GHG 排出をはじめとする人類の活動が地球温暖化を引き起こし、世界平均気温（2011～2020 年）が工業化以前（1850 年～1900 年）よりも 1.09℃高くなったと報告している。

そして、今後の気候変動について、GHG 排出量が現在の水準で推移した場合には、2050 年頃に 2.0℃の平均気温の上昇が見込まれている（図 2-1）。

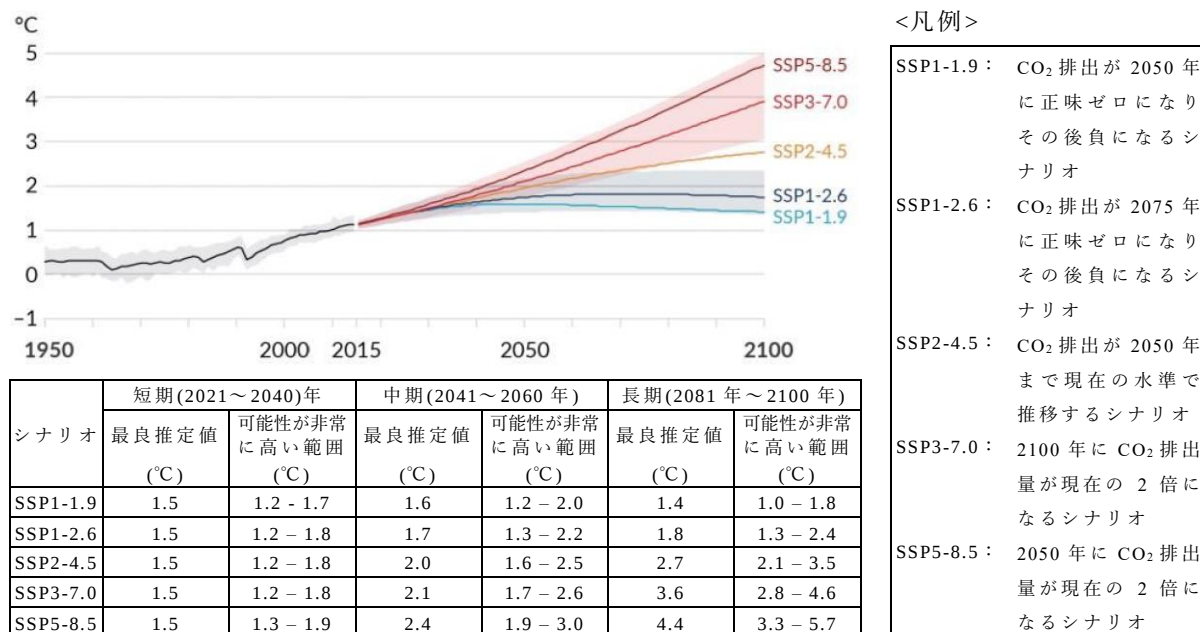
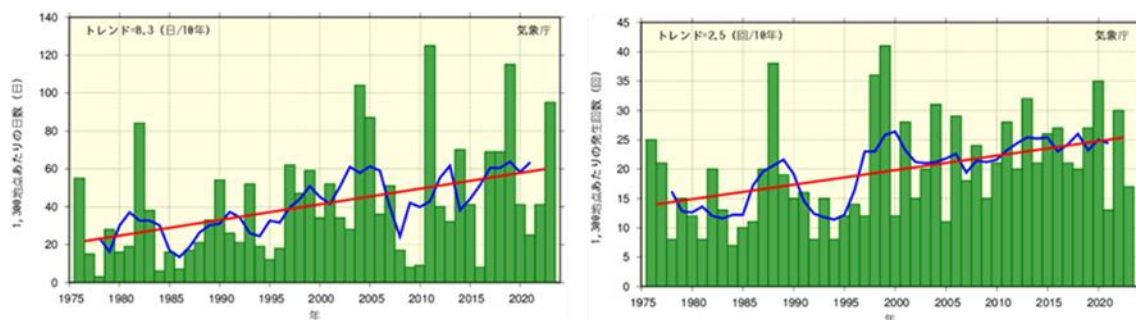


図 2-1 IPCC AR6 における世界平均気温の予測(1850 年～1900 年基準)²

² 気象庁：IPCC AR6 WG1 報告書 政策決定者向け要約(SPM) 暫定訳, 2022 年 12 月 22 版

(2) 気候変動が及ぼす影響

近年の地球温暖化の進行によって、異常気象が激甚化・頻発化しており、気象庁の観測によれば、日降水量が 300mm 以上の大雨を観測した日数は、1980 年頃と比較して概ね 2 倍程度に頻度が増加している（図 2-2、a）。また、1 時間降水量 80mm 以上の短時間強雨の発生頻度も同じく 2 倍程度増加しており（図 2-2、b）、大雨の頻度や強度に有意な増加傾向が確認されている。



a) 日降水量 300mm 以上の年間発生回数 b) 1 時間降水量 80mm 以上の年間発生回数

図 2-2 大雨の年間発生回数³

このような近年の大雨・短時間強雨の頻発化により、我が国では、2012 年以降、全国の約 3 割の雨量観測所で 1 時間降水量が観測史上 1 位を更新し、「平成 30 年 7 月豪雨」や「令和元年東日本台風」、「令和 2 年 7 月豪雨」をはじめ、毎年のように豪雨災害による被害が生じている（表 2-1、図 2-3）。

表 2-1 近年の代表的な気象災害の被害⁴

	死者・ 行方不明者	建物全壊 /建物半壊	降水量観測史上 1 位の更新箇所数
平成 30 年 7 月 豪 雨	271 名	6,783 棟 /11,346 棟	122 地点 (72 時間) 124 地点 (48 時間) 76 地点 (24 時間)
令 和 元 年 東日本台風	108 名	3,229 棟 /28,107 棟	72 地点 (48 時間) 103 地点 (24 時間) 120 地点 (12 時間)
令 和 2 年 7 月 豪 雨	86 名	1,620 棟 /4,509 棟	40 地点 (72 時間) 40 地点 (48 時間) 30 地点 (24 時間)



a) 「平成 30 年 7 月豪雨」による被災状況



b) 「令和元年東日本台風」による被災状況

図 2-3 近年の気象災害の例⁵

³ 気象庁 HP：大雨や猛暑日など(極端現象)のこれまでの変化 (参照 2025.1)

https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html

⁴ 国土交通省：国土交通白書 2021, 2021 年 8 月 20 日

⁵ 国土交通省：国土交通白書 2022, 2022 年 9 月 7 日

さらに、IPCC AR6 が予測した、2050 年に世界平均気温が 2.0℃上昇した場合（GHG が現在の水準で推移するシナリオ）、我が国では、降雨量が 1.1 倍増加すると共に洪水発生頻度が 2 倍に増加することが予測されている（表 2-2）。また、平均海水面は、砂浜が 6 割消失することに相当する 0.29～0.59m の上昇が予測されており（表 2-2）、このままの状況が続いた場合には、地球温暖化によるさらなる気象災害リスクの高まりが懸念される。

表 2-2 気候変動による治水計画・海岸保全への影響予測^{6,7}

シナリオ	治水計画への影響 ^{*1}			海岸保全への影響予測 ^{*2}			
	降 雨 量	流 量	洪 水 発 生 頻 度	平 均 海 面 水 位	高潮時の潮位偏差	波 浪	海 岸 浸 食
2℃上昇	約 1.1 倍	約 1.2 倍	約 2 倍	0.29-0.59m	極値が増加	平均の波高、周期は減少 極値が増加	砂浜の 6 割が消失
4℃上昇	約 1.3 倍	約 1.4 倍	約 4 倍	0.61-1.10m	極値が増加	平均の波高、周期は減少 極値が増加	砂浜の 8 割が消失

*1 年超過確率 1/100 の降雨量による流量と洪水発生頻度の変化

*2 平均海面水位は、「変化する気候下での海洋・雪氷圏に関する IPCC 特別報告書(2019)」(SROCC)による、1986～2005 年の期間から 2100 年までの予測値

(3) 2050 年カーボンニュートラルの実現

表 2-3 パリ協定の概要⁸

気候変動による気象災害の激甚化・頻発化は我が国のみならず世界的な課題であり、

長期的かつ国際的な取組みが求められている。このため、2015 年 12 月 12 日、パリで開催された国連気候変動枠組条約第 21 回締約国会議（COP21）において、京都議定書以来 18 年ぶりの新たな法的拘束力のある国際約束であるパリ協定が採択された。パリ協定は、国際条約として初めて「世界的な平均気温の上昇を産業革命以前に比べて 2℃より十分下方に抑えるとともに、1.5℃に抑える努力を追求すること」や「今世紀後半の温室効果ガスの人為的な排出と吸収の均衡」を

目 的	世界共通の長期目標として、産業革命からの平均気温の上昇を 2℃より十分下方に保持。1.5℃に抑える努力を追求。
目 標	上記の目的を達するため、今世紀後半に GHG の人為的な排出と吸収のバランスを達成できるよう、排出ピークをできるだけ早期に抑え、最新の科学にしたがって急激に削減。
各国の目標	各国は、貢献（削減目標）を作成・提出・維持する。各国の貢献（削減目標）の目的を達成するための国内対策をとる。各国の貢献（削減目標）は、5 年ごとに提出・更新し、従来より前進を示す。
長期低排出発展戦略	すべての国が長期低排出発展戦略を策定・提出するよう努めるべき。（COP 決定で、2020 年までの提出を招請）
グローバル・ストックテイク	5 年ごとに全体進捗を評価するため、協定の実施状況を定期的に検討する。世界全体としての実施状況の検討結果は、各国が行動および支援を更新する際の情報となる。

挙げ、2017 年 3 月末時点で、気候変動枠組条約締結国の 197 の国・地域のうち 141 の国・地域がパリ協定を締結しており、これらの国の GHG 排出量が占める割合は 82.5%に達している。

⁶ 国土交通省：気候変動を踏まえた治水対策のあり方 提言，令和 3 年 4 月改定

⁷ 国土交通省：気候変動を踏まえた海岸保全のあり方 提言，令和 2 年 7 月

⁸ 外務省 HP：2020 年以降の枠組み パリ協定，令和 4 年 2 月 24 (参照 2025.1)

https://www.mofa.go.jp/mofaj/ic/ch/page1w_000119.html

このパリ協定における 1.5℃努力目標に向けて、2021 年 11 月時点で、154 ヶ国・1 地域が 2050 年などの年限を区切ったカーボンニュートラルの実現を表明している（図 2-1）。

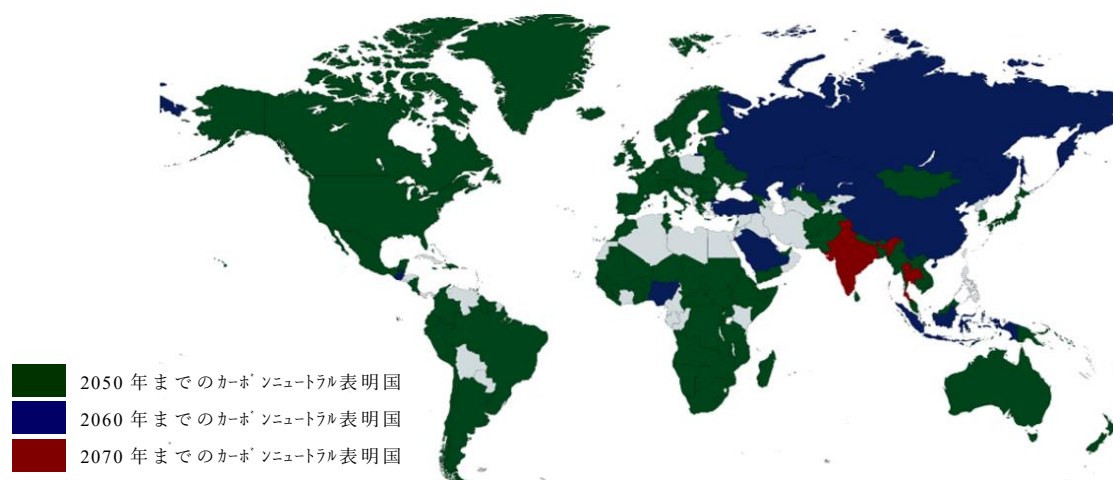


図 2-4 年限付きカーボンニュートラルを表明した国・地域⁹

我が国においても、2020 年 10 月に「2050 年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち 2050 年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す」ことを宣言し、GHG 削減目標として「2050 年カーボンニュートラルと整合的で、野心的な目標として、我が国は、2030 年度において、温室効果ガスを 2013 年度から 46%削減することを目指す。さらに、50%の高みに向け、挑戦を続けていく。」こととし（表 2-4 パリ協定に基づく主要各国の目標 9）、2021 年 10 月に GHG 排出削減目標（NDC）を国連気候変動枠組条約事務局に提出した。

表 2-4 パリ協定に基づく主要各国の目標⁹

	NDC 目標(2030 年目標)	(参考) 2013 年比の 2030 年目標の水準	カーボンニュートラル目標 (ネットゼロ達成時期)
	削減率 (基準年)		
英 国	68%以上 (1990 年)	54.6%減	2050 年
ブラジル	50% (2005 年)	48.7%減	2050 年
日 本	46% (2013 年)	46.0%減	2050 年
米 国	50～52% (2005 年)	45.6%減	2050 年
E U	55% (1990 年)	41.6%減	2050 年
韓 国	40% (2018 年)	23.7%減	2050 年
中 国	65% (2005 年)	14.1%増	2060 年
イ ン ド	45% (2005 年)	99.2%増	2070 年

* 日本の基準年は 2013 年度、目標年は 2030 年度(カーボンニュートラル目標は 2050 年)

* 中国の NDC 目標(65%)は GDP 当たりの CO₂ 排出量の削減率

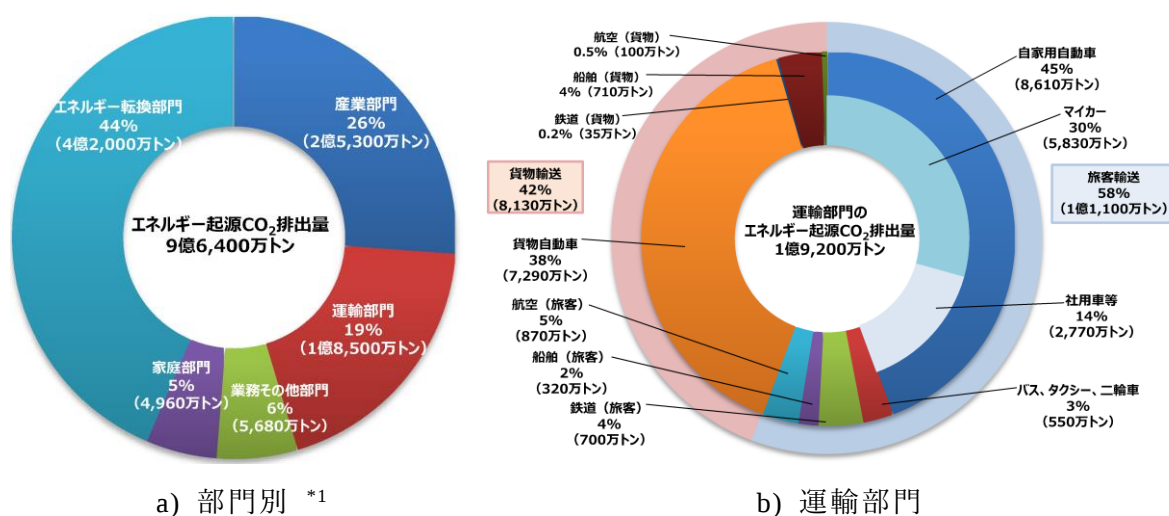
* インドの NDC 目標(45%)は GDP 当たりの温室効果ガス排出量の削減率

⁹ 資源エネルギー庁：エネルギー白書 2023, 2023 年 7 月 31 日

(4) 人流・物流の脱炭素に向けた動向

我が国においては、前述のように「2050年カーボンニュートラル」の実現および2030年度温室効果ガス46%削減、さらに50%の高みに向けた挑戦を目標に掲げ、グリーントランスフォーメーション（GX）に係る取組みを加速化させている。

図2-5は、2022年度の我が国の部門別CO₂排出量および運輸部門におけるCO₂排出量を示す。運輸部門は全体のCO₂排出量の約20%を占め、今後の人流・物流分野における取組は、我が国全体のGHG排出量の動向に大きく寄与するものである。また、運輸部門におけるCO₂排出量は自動車が85%を占めており、我が国全体で16%のCO₂排出量に及んでいる。



*1 発電および熱発生に伴うエネルギー起源のCO₂排出量を電力および生産者側の排出量として、生産者側の部門に計上した排出量

図2-5 2022年度のCO₂排出量の内訳¹⁰

このため、単体対策（次世代自動車の普及促進など）や交通流の円滑化と共に、公共交通の利活用やモーダルシフトを含めた総合的な取組み、また、国際航空・外航海運など、国別目標によらない国際的な動向を踏まえた国際的な視点での取組みが求められており、2050年における人流・物流分野は、気候変動の緩和策となるカーボンニュートラルにより大きく変革していることが予想される。

¹⁰ 環境省、国立環境研究所：2022年温室効果ガス排出・吸収量（概要）、2024年4月発表

2.1.2 人口動態と社会構造の変化

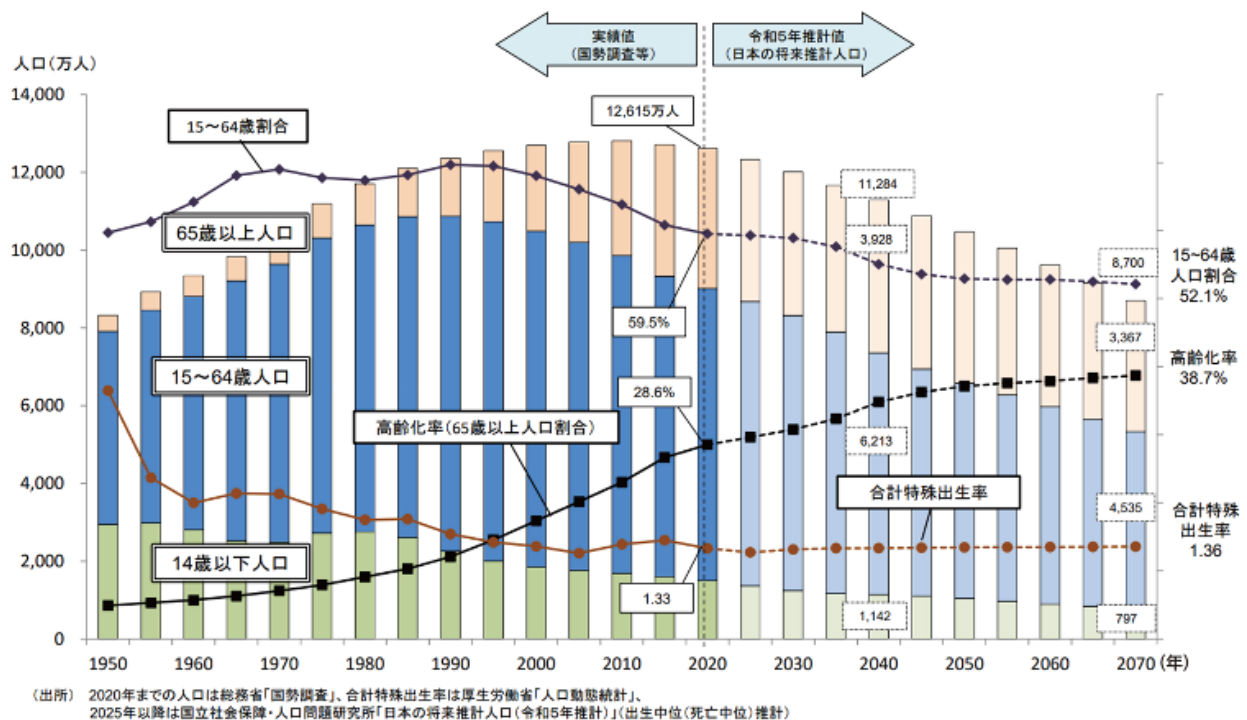
我が国は、少子化の進行が危機的な状況にある。最新の人口動態統計月報年計（概数）の結果（2024年6月厚生労働省発表）によると、2023年の合計特殊出生率（出生率）は全国で1.20となり、過去最低を更新した。

少子化の進行は、将来にわたって人口（特に生産年齢人口）の減少、高齢化を進展させ、経済規模の縮小、産業や社会の担い手不足、地域の衰退等、多くの危機的な問題を生むことになり、2050年における我が国の社会構造は大きく変化していることが予想される。

(1) 人口の変化

我が国の人口は、2008年の12,808万人をピークに、2011年以降13年連続で減少しており、2023年10月時点の総人口は、12,435万人と、前年に比べて約60万人減少している。

国立社会保障・人口問題研究所の将来推計人口では（図2-6）、2050年には我が国の人口が10,469万人となり、2023年より2,000万人減少することが予測されている。



資料）国立社会保障・人口問題研究所「将来推計人口（令和5年推計）の概要」

図 2-6 日本の人口の推移¹¹

また、2050年における若年人口（0～14歳）は、低い出生率が今後も継続していくと予測し、2020年から462万人減少して1,041万人となり、2050年における生産年齢人口（15～64歳）は、2020年から1,969万人減少して、全体の約53%にあたる5,540万人となることが見込まれている。

¹¹ 国土交通省：国土交通白書 2024, 2024年8月31日

若年人口および生産年齢人口の減少が進行していく一方で、我が国における高齢化は、ここ30年で急速に進行しており、1990年の高齢化率12.1%から、2020年には28.6%まで上昇している。さらに、2050年の高齢化率は37.1%にまで上昇し（図2-6）、高齢化率が40%を超える都道府県は、2020年時点でゼロであったものの、2050年には25の道県に増加すると予測されている（図2-7）。

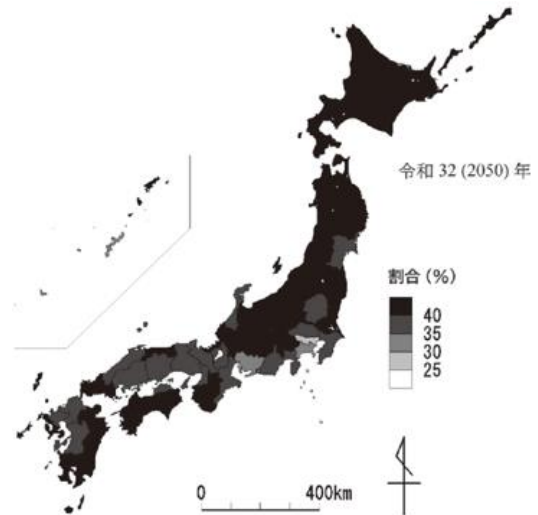


図 2-7 都道府県別 65 歳以上人口の割合¹¹

(2) 都内への一極集中

我が国の人口の減少、特に少子化の進行に伴い、中山間地域を中心とした全市町村の約3割にあたる558市町村で、2050年までに2015年に対する人口が半数未満になると見込まれている。また、国土の約2割が無居住化するとされている（図2-8）。

その一方で、東京圏への転入超過傾向は現在でも継続しており、東京一極集中の構造は是正されていない状況にある。今後も、首都圏をはじめ、大阪府、愛知県などの都心への転入は継続していくものと予測され、特に2050年における東京都の人口は、2020年に比べて増加する見込みである。

表 2-5 都道府県別総人口の推移

(1,000 人)

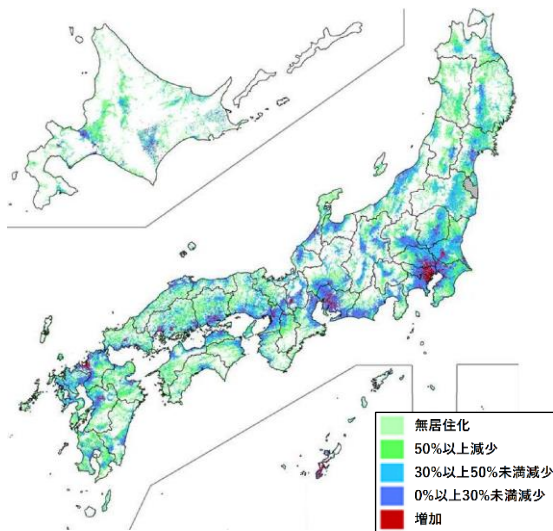


図 2-8 2050 年の人口増減
(2015 年比較)¹²

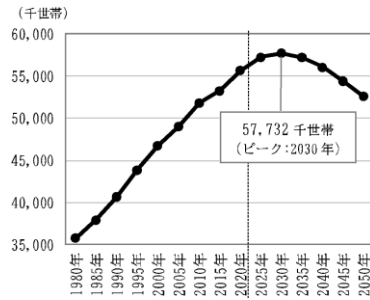
順位	令和 2 年 (2020)		令和 17 年 (2035)		令和 32 年 (2050)	
	全国	126,146	全国	116,639	全国	104,686
1	東京都	14,048	東京都	14,459	東京都	14,399
2	神奈川県	9,237	神奈川県	9,012	神奈川県	8,524
3	大阪府	8,838	大阪府	8,167	大阪府	7,263
4	愛知県	7,542	愛知県	7,211	愛知県	6,676
5	埼玉県	7,345	埼玉県	7,101	埼玉県	6,634
⋮	⋮		⋮		⋮	
43	福井県	767	福井県	672	秋田県	560
44	徳島県	720	徳島県	601	島根県	497
45	高知県	692	島根県	581	徳島県	481
46	島根県	671	高知県	568	高知県	451
47	鳥取県	553	鳥取県	479	鳥取県	406

¹² 国土交通省：「国土の長期展望」最終とりまとめ参考資料，令和3年6月

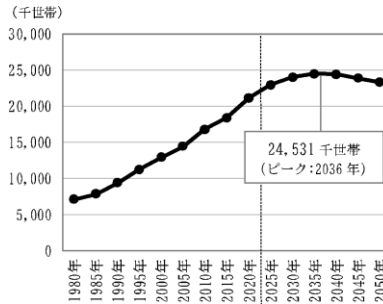
(3) 単身世帯の増加

かつて家族類型の主流であった「夫婦と子」からなる世帯の割合は、2050年に21.5%まで低下し、一方で、単身世帯の割合が44.3%まで拡大する見込みである（図2-9）。高齢化が進む中での単身世帯の増加は、単身高齢世帯の増加を意味することになる。

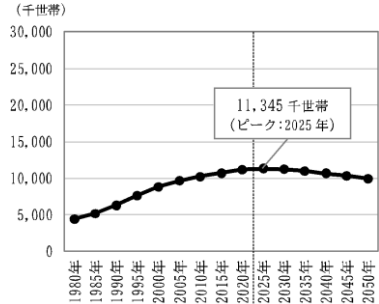
a) 一般世帯総数



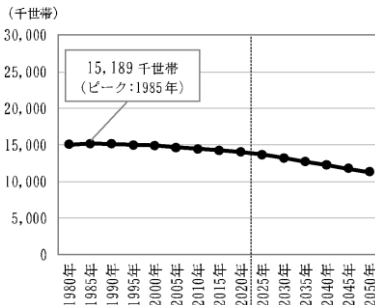
b) 単独世帯



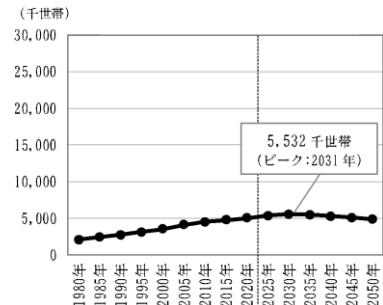
c) 夫婦のみの世帯



d) 夫婦と子からなる世帯



e) ひとり親と子から成る世帯



f) その他の一般世帯

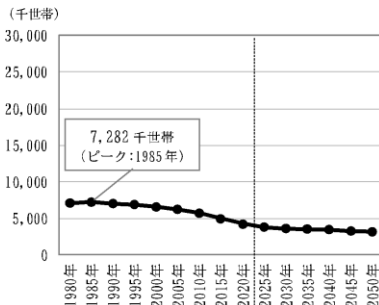


図2-9 家族類型別一般世帯数の推移¹³

(4) 外国人旅行者数の推移

2024年の訪日外国人旅行者数は、3,687万人と過去最高を記録した（図2-10）。今後、アジア諸国は人口が概ね増加する中で、一人あたりGDPも2050年までに高い伸びが見込まれており（図2-11）、アジア諸国からの訪日外国人旅行者数は、2050年にかけて増加していくことが期待される。

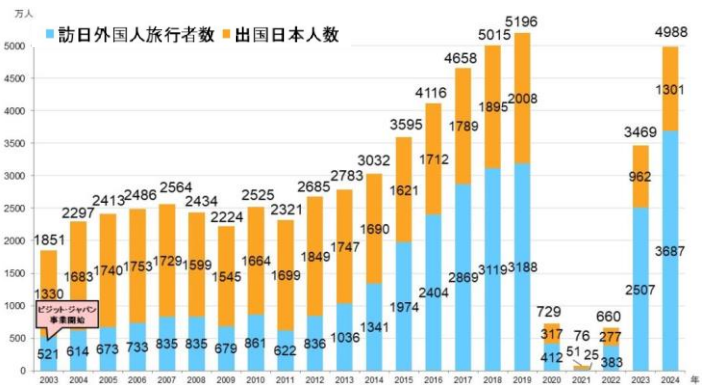


図2-10 訪日外国人旅行者数・出国日本人数の推移¹⁴

¹³ 国立社会保障・人口問題研究所：日本の世帯数の将来推計（全国推計）（令和6年年推計），令和6年4月12日

¹⁴ 観光庁 HP：訪日外国人旅行者数・出国日本人数（参照2025.1）
https://www.mlit.go.jp/kankocho/tokei_hakusyo/shutsunyukokushasu.html

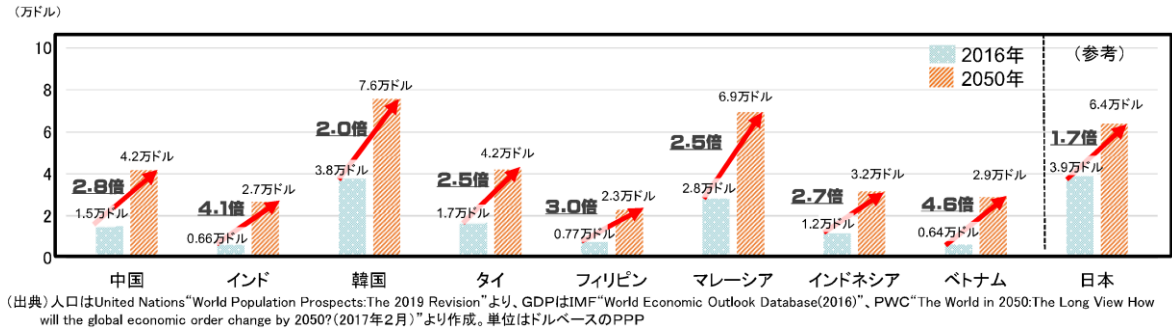


図 2-11 アジア諸国の一人当たり GDP の推移¹⁵

(5) 人流・物流の Society5.0 の実現に向けた動向

人口（特に生産年齢の人口）の減少、高齢化の進展は、経済規模の縮小、産業や担い手不足、地域の衰退など、経済や社会に深刻な影響を及ぼすことが懸念されている。このような、人口動態・社会構造の変化がもたらす社会的課題解決のため、我が国では、超スマート社会・Society5.0*の実現が求められている。また、訪日外国人旅行者によるインバウンド消費によって、人口減少による経済の縮小を補うことが期待されており、Society5.0*時代を見据えた観光モデルの創造も求められている。

このため、AI やロボット、IoT などの技術を活用した、オンライン診療や介護ロボット、公共交通の自動運転化や薬の宅配サービス、IoT デマンド交通、外国人目線での観光型 Mass など、Society5.0*の進展により、2050 年における人流・物流分野は、大きな変革がもたらされていることが予測される（図 2-12）。

* Society5.0: サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する、人間中心の社会

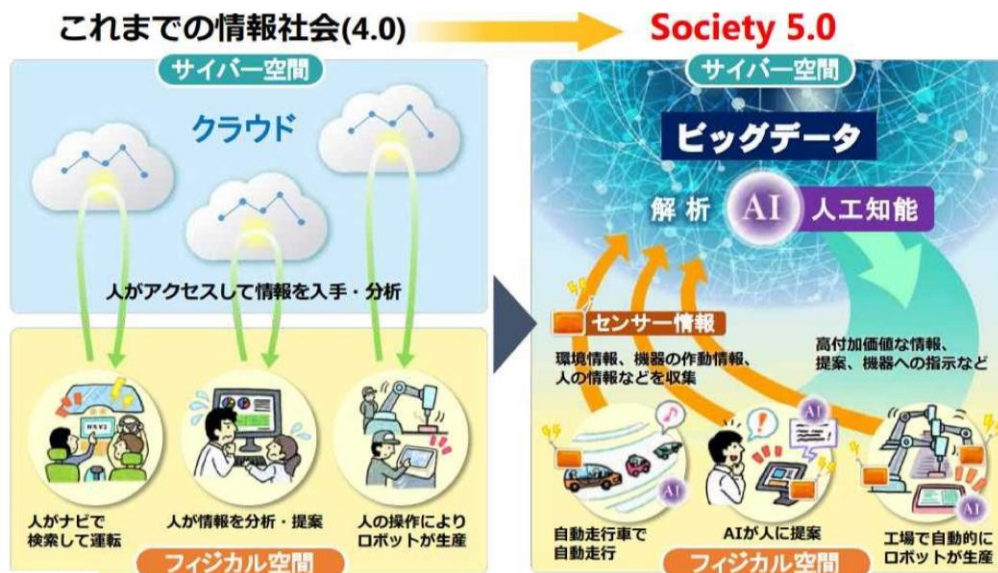


図 2-12 Society5.0 の概念図¹⁵

¹⁵ 国土交通省：「国土の長期展望」中間とりまとめ参考資料，令和 2 年 10 月

2.2 社会課題解決のための技術動向

2.2.1 国土インフラの整備

2050 年の社会予測として、今後概ね 10 年間を計画期間として、総合的かつ長期的国土づくりの方向性を定めた国土形成計画が策定されている。

同計画での国土インフラ整備の方針や目指す姿を示し、中長期的な社会課題解決のための技術革新にどのような技術が望まれているのか調査した。

(1) 国土形成計画での社会課題

令和 5 年 7 月に新たに策定された「国土形成計画」では、未曾有の人口減少、少子高齢化の加速、巨大災害リスクの切迫、気候危機の深刻化、生物多様性の損失など、我が国が直面するリスクと構造的な変化が強く認識され、「時代の重大な岐路に立つ国土」と表現されている。

(2) 目指す国土の姿

国土をめぐる課題認識を踏まえて、「目指す国土の姿」として、「新時代に地域力をつなぐ国土～列島を支える新たな地域マネジメントの構築～」を掲げている。

これは、未曾有の人口減少、少子高齢化の加速をはじめとする様々な危機・難局において、特に、地方においては、若者世代を中心に人口の減少・流出が続き、地域の暮らしを支える様々な生活サービス提供機能の低下・衰退、地域産業の弱体化、中山間地域等の過疎化や都市中心部の空洞化、美しい自然環境や景観を誇る国土の荒廃等の地域構造の変容等も相まって、地方衰退への悪循環に拍車がかかるおそれがあり、地方の危機ともいえる深刻な状況となっている。こうした危機・難局に直面する地方を重視し、人口減少下においても国土全体にわたって人々が生き生きと安心して暮らし続けることができるよう、地域の諸課題を克服するため、地域の資源を総動員して、地域の力を結集するとともに、各地方の地域力を国土全体でつなぎ合わせることを重要視している。

国土全体にわたって新時代を拓く地域力を結集し、未来へとつなぐ、「新時代に地域力をつなぐ国土」の形成を通じて、地方に活力を取り戻し、安全・安心で、個性豊かな地域を全国に広げ、未来を担う若者世代を含めて人々を惹きつける地方の魅力を高めて、地方への人の流れを創出・拡大することにより、地方の人口減少・流出の流れを変え、国土の多様性（ダイバーシティ）、包摂性（インクルージョン）、持続性（サステナビリティ）、強靱性（レジリエンス）の向上につなげ、未来に希望を持てる持続可能な国土を目指すとしている。

(3) シームレスな拠点連結型国土

「新時代に地域力をつなぐ国土」の形成に向けた国土構造の基本構想として、国土全体にわたって、広域レベルでは人口や諸機能が分散的に配置されることを目指しつつ、各地域において重層的に各種サービス機能の多様な集約拠点の形成とそのネットワーク

化を図る「シームレスな拠点連結型国土」の構築が掲げられている。具体的には、質の高い交通やデジタルのネットワーク強化を通じ、国土全体におけるシームレスな連結を強化して、日本海側と太平洋側の二面を効果的に活用しつつ、内陸部を含めた連結を図る「全国的な回廊ネットワーク」の形成を図り、活発にヒト・モノが流動し、イノベーションが促進されるとともに、災害時のリダンダンシーを確保することなどにより、広域的な機能の分散と連結の強化を図る。加えて、日常的な生活のレベルにおいても、新たな発想からの地域マネジメントの構築を通じて、持続可能な生活圏の再構築を図ることとしている。

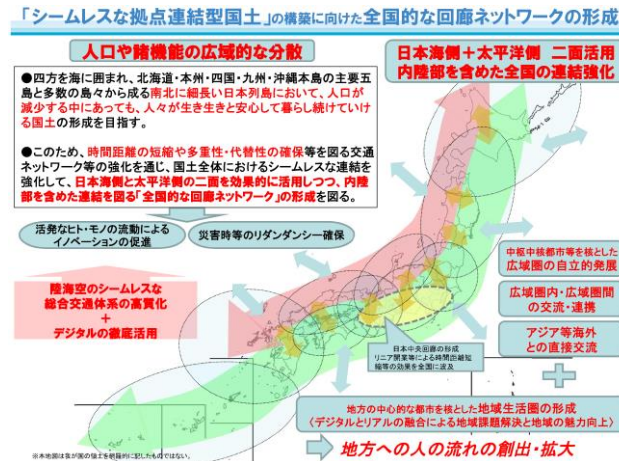


図 2-13 全国的な回廊ネットワークのイメージ¹⁶



図 2-14 日本中央回廊のイメージ¹⁷

2.2.2 社会課題解決のための技術革新

2050年の日本社会における未来予測をできるだけ明確に予測し、その社会の実態に即した検討を行うために、社会構造の変化に大きな影響を与える技術革新の動向について、「量

¹⁶ 国土交通省：第三次国土形成計画（全国計画）（参照 2023.11）
https://www.mlit.go.jp/kokudoseisaku/kokudokeikaku_fr3_000003.html

¹⁷ 統合イノベーション戦略推進会議 HP「量子未来社会ビジョン 令和4年4月22日」（参照 2023.12）
https://www8.cao.go.jp/cstp/ryoshigijutsu/ryoshimirai_220422.pdf

子未来社会」での情報インフラの変革、社会全体の「DX化」および本検討の中核テーマである「交通インフラの技術革新」について検討を行った。

(1) 量子未来社会

内閣府 科学技術・イノベーション推進事務局の戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)によると、Society5.0の実現に向け、量子未来社会ビジョンでは、量子技術を取り巻く環境変化など(量子産業の国際競争の激化、コロナ禍によるDXの急速な進展、カーボンニュートラル社会/SDGsなどへの貢献)を踏まえ、量子技術を社会経済システムに取り込むことで、我が国の産業の成長機会の創出や社会課題の解決などに向け、産学官が一体となって取り組みを推進している。

ここで、次世代の計算機として社会を大きく変えることができる量子コンピュータは、従来型コンピュータの2ビット論理演算処理(0または1)とは異なる動作原理で、量子の重ね合わせ状態によるビットの表現「重ね合わせ」や「量子もつれ(エンタングルメント、量子からみ)」といった量子力学的な振る舞いを使って、複数の計算を同時に行えるシステムである。このコンピュータは従来型コンピュータとは桁違いの計算能力の高さを有しており、新薬の開発や金融市場の予測など、さまざまな課題を解決する計算サービスの実現が期待されている。

量子技術は、従来型技術と比較して、より高速で複雑な問題を解決できる可能性があり、量子と従来型(古典)技術のハイブリッド化により、さらに高度な技術を実現することが期待され、産学官が一体となって研究開発が行われている。以下に、未来社会における量子技術によって創出される価値(量子技術活用イメージ)を示す。

量子技術の利活用によって目指すべき究極の未来社会像として、経済・環境・社会が調和する未来社会像が設定されている。具体的には、「経済成長 Innovation」、「人と環境の調和 Sustainability」、「心豊かな暮らし Well-being」を価値観として、経済・環境・社会が調和する未来社会像に向けて、産学官が一体となって取り組むことを目指している。

量子技術は、将来のコンピューティング、センシング、通信性能などの飛躍的な向上を実現し、創薬・医療、材料、金融、エネルギー、生活サービス、工場、物流、交通、安全・安心などの多様な分野で活用して社会経済にとっての価値を創出できるものである。未来社会ビジョン(図2-15)の実現に向けて、想定される活用事例をこの図中に合わせて示している。なお、これらは現時点での活用事例であり、今後、産官学が手を取り合って量子技術をさらに発展させ、ユースケースの発掘や技術の進展などによって、新たな事例が創出されていくことが期待されている。

(2) 社会のDX化

DXとは、Digital Transformation(デジタルトランスフォーメーション)の略称で、デジタル技術によって、ビジネスや社会、生活の形・スタイルを変える(Transformする)



図 2-15 量子技術活用イメージ¹⁸

ことである。経済産業省が発表した『デジタルガバナンス・コード 2.0（旧 DX 推進ガイドライン）』¹⁹によると、DX は「企業がビジネス環境の激しい変化に対応し、データとデジタル技術を活用して、顧客や社会のニーズを基に、製品やサービス、ビジネスモデルを変革するとともに、業務そのものや、組織、プロセス、企業文化・風土を変革し、競争上の優位性を確立すること」と定義している。DX が及ぼす社会的影響は IT 業界だけでなく、複雑で激しく変化する人間社会に広く深くあらゆる分野に影響を与え、現在では人々のニーズに対応するためにもデータを活用したサービスや商品設計が求められる状況に変化しつつある。表 2-6 に各分野における DX 導入効果について示す。

(3) 交通インフラ

国土交通省は、安全な自動運転技術が実用化され、交通事故の発生がほとんどなくなった 2050 年頃の将来像について次のように予想している。

- ① 少子高齢化に伴って、公共交通の衰退が危ぶまれていた地域においては、高齢者などの移動手段が確保される。
- ② 基幹交通インフラの結節点や地方都市においては、必要に応じて自動運転も活用した公共交通網が整備され、自動車を自由に運転できない人でも、必要な生活サービスを享受できる環境が実現していることが期待される。

¹⁸ 内閣府科学技術・イノベーション推進事務局 HP「量子未来社会ビジョン概要 令和 4 年 4 月 22 日」(参照 2023.12)

https://www8.cao.go.jp/cstp/ryoshigijutsu/ryoshi_gaiyo_print.pdf

¹⁹ 経済産業省 HP「デジタルガバナンス・コード 2.0」(参照 2023.12)

https://www.meti.go.jp/policy/it_policy/investment/dgc/dgc.html

表 2-6 各分野における DX 化の効果

分野	期待される効果
医療	医療におけるさまざまな段階で健康診断、カルテ、診療報酬などから多くのデータを得ることが可能であり、効率的に医療や介護の資源を活用できる。
建設	計画から維持管理の各工程の情報の共有や重機操作の自動化など重機の遠隔操作が可能となり、人材不足を解消できる。 各種 ICT 技術により、現場での作業を遠隔・自動化し、AI を活用して熟練技能を確実に継承するなど、全体的な工数削減や品質向上、重大事故のリスク軽減が見込める。
金融	初期費用やランニングコスト削減、人件費削減などのコスト削減や、AI 活用による定型業務の効率化、生体認証の活用によるセキュリティ向上などを含め、顧客サービスの向上を図ることができる。
農業	生産現場の DX により、効率的かつ安定的な生産性の向上が期待される。 農村地域の DX により、都市と地方の住民の人材交流や複数の集落が連携した農業基盤整備、自然災害対策などへの展開を図ることができる。 流通・消費の DX では、農産物の安全性や品質の向上、需要予測やマーケティングにも効果が期待される。
製造	生産プロセスの見える化・数値化による製造工程全体での効率化と、サプライチェーンにおけるデータの連携で、製造工程の全体の最適化が図れる。 顧客が製品を使用する際のデータ収集・分析結果により、自社製品の改善や新商品の開発への反映やサービスの充実を実現できる。

- ③ 自動運転技術によるトラック隊列走行が実現することで、トラックドライバー1人当たりの輸送量が向上し、ドライバー不足解消に貢献する。

このように、我が国では、自動化や効率的な輸送技術の開発と交通弱者に対する適切な移動手段の提供が進められるものと考えられる。

こうした中で、特に世界的な環境意識の高まりや、高齢者の移動手段の問題、都心部の人口増加や渋滞などの問題を背景に、エコでコンパクトな超小型モビリティの普及が期待されている。また、道路交通センサスによると、自動車を利用する多くの人は近距離での移動をメインとしており、1人で移動することが多い。こうした利用のあり方を背景に、小型モビリティを、「日常の交通手段」、「都心部における小口配送などの商業目的の交通手段」、「観光時の移動手段」として利用するとしている。こうしたことから、2050年に向けて、交通インフラは都市間をつなぐ高速・大量移動と生活圏内をきめ細やかに移動することが可能な小型・簡易なモビリティとの共存する方向に向かうものと考えられる。図 2-16 にこうした小型モビリティの事例を示した。



図 2-16 自動運転小型電動カート²⁰

²⁰ 産業技術総合研究所 HP「ラストマイル自動走行の実証評価（永平寺町）に係わる新たな実証を開始」（参照 2023.12）

https://www.aist.go.jp/aist_j/news/au20181114.html

3. 人流の特性を踏まえた地下インフラ-MaaSにより制御された安全・安心・快適な人流システム

3.1 2050 年に求められる人流の在り方とは

本節では第 2 章で予測した 2050 年の社会予測をふまえ、人流の在り方について検討する。

(1) 人流の変化

我が国の人口は、今後も継続して減少し、2040 年頃までは少子化高齢化が継続、その後むしろ高齢者も含めた人口減少が顕著になるものと推定されるが、こうした変化は全国一律に進むわけではない。図 3-1 は 2010 年を基本とした場合の 2050 年における人口の増減状況を地図上に示したものである。この図からもわかるように、一部の大都市圏ではまだ人口増加がみられ、その周辺部は大きな変動はない。一方、国土の大半を占めるそれ以外の地域では大きく人口が減少するものと考えられる。より詳しく見てみると、人口減少地域でも現在の人口が多い都市部ほどその割合は小さく、既に過疎化が進行している地域では大きく人口が減少し、結果として約 20%の自治体は無居住地域となることが予想される。なお、2045 年には、7 割以上の市区町村で人口が 2 割以上減少し、65 歳以上が人口の 50%以上を占める市区町村は 3 割近くになる見通しである²¹。

このような変化によって無居住地域でのインフラの廃止や持続的な維持管理が困難となり、その周辺部を含めた利便性低下を促進させることが懸念され、一方で人口減少が起きない大都市部では、インフラの継続的な更新が欠かせないものと想定される。

こうした人口減少に伴い、人々のコミュニティへの帰属意識やコミュニティ活動への参加意識等は大きく低下しており、地域を支える活動も低下している状況にある。このため、公共交通の利便性向上、モーダルコネクットの強化、自転車の利用促進（環境行動計画、国土交通省²²）などの公共交通のネットワーク整備や歩いて移動できる範囲の中に暮らしに必要な機能を集積するなど、コミュニティ活動に適した都市構造への転換に取り組む必要がある。

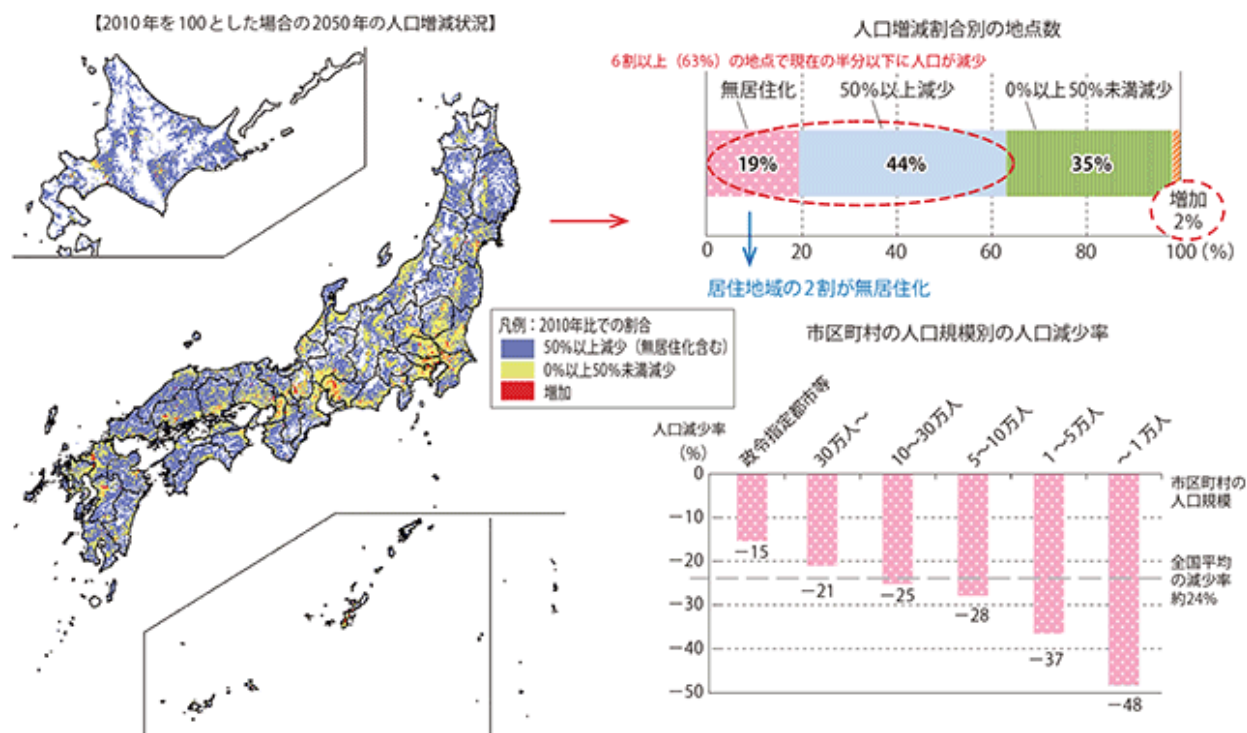
我が国の交通を巡る状況は、都市部と地方部では、現状の課題が大きく異なる。都市部では、公共交通サービスは世界トップレベルの水準で提供されている一方、黒字バス路線でも運転者不足が原因で、運行本数を削減せざるを得ない状況が生じ始めている。

²¹ 国土交通省：我が国経済とこれを取り巻く環境（参照 2024.12）

<https://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/h27/hakusho/h28/html/n1111000.html>

²² 国土交通省 「日本版 MaaS の推進」（参照 2024.12）

<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/japanmaas/promotion/>



資料）総務省「国勢調査報告」、国土交通省推計値より作成

図 3-1 人口分布の予測

道路交通においては、混雑による経済的損失や環境問題が発生し、駐車場確保の問題や自転車走行空間のさらなる確保などが課題となっている。地方部では、自動車による移動が多いことと、少子・高齢化の進展によって公共交通サービスの需要が低下しており、運転者不足とあいまってバスやタクシーのサービスの縮小や撤退が顕在化している。このような状況の中で、外出率にも低下が見られるなど、移動そのものの減少も生じつつある。

1) 都市部の人流変化

人口減少・少子高齢化が進展する中、規模が大きい都市への人口流入が続いた高度経済成長期には郊外化とともに、都市の規模が拡大したが、現在は空き家が目立つ都市も増えている。人口減少の中、インフラや行政サービスのコストを賄うのに十分な税収を確保することが難しくなっている。また、高齢化社会においては、高齢者の移動手段の確保も喫緊の課題となるため、政府は就業、就学、居住、買い物などの都市機能を地理的に集約させたコンパクトシティを推進している。都市において人々は日々、通勤、通学、買い物、余暇活動のため移動をしていて、これらが人流を生み出している。

2) 都市周辺部・人口減少地域の人流変化

人口減少の本格化、運転者不足の深刻化等に伴って、公共交通サービスの維持・確保が厳しさを増し、高齢者の運転免許の返納が年々増加する等、地域の暮らしと産業を支える移動手段を確保することがますます重要になっている。

このような状況を受けて、2020 年 5 月には「持続可能な運送サービスの提供の確保に資する取組みを推進するための地域公共交通の活性化及び再生に関する法律等の一部を改正する法律」²³が成立し、新たな枠組みの下で、地方公共団体による地域公共交通計画等の策定やそれに基づく鉄道・バス等の確保・充実の取組みに対し、予算・ノウハウ面等で引き続き必要な支援が行われている。

3) 人口減少地域の人流変化

我が国においては、人口・経済が急成長する中、国土面積が限られ、効率的な大量輸送が可能だったという条件もあり、地域の交通分野では民間ビジネスベースでの公共交通サービスが発達し、民間サービスと、公的サービスがそれぞれの地域の実情に応じた役割を担いつつ提供され、地域の人流が確保されてきた。しかし、人口動態の変化によって、1997 年交通運輸行政の転換であった需給調整規制の廃止、平成 2000 年・2002 年のバス・タクシーの需給調整規制の廃止、2007 年の「地域公共交通の活性化及び再生に関する法律（地域公共交通活性化再生法）」の制定が行われてきたが、少子高齢化のさらなる進展に伴って、地方では人流の減少が顕著になってきた。

現在は採算悪化によるバス、鉄道便の減便、廃止や日常生活における移動を自家用自動車に頼る地域交通の課題に対して、近年の IoT 化等の急速な進展や交通分野での自動運転技術、MaaS、ライドシェアといった新たな技術・サービスの展開など、交通分野のイノベーションによる人流の確保が期待されている。

(2) 人流を維持する技術革新としての MaaS

「MaaS」とは「Mobility as a Service」の略で、移動すること自体をサービス（図 3-2）としてとらえるという考えである²⁴。

国土交通省では、MaaS を「地域住民や旅行者一人一人のトリップ単位での移動ニーズに対応して、複数の公共交通やそれ以外の移動サービスを最適に組み合わせで検索・予約・決済等を一括で行うサービスであり、観光や医療等の目的地における交通以外のサービス等との連携により、移動の利便性向上や地域の課題解決にも資する重要な手段となるもの」としている。

交通手段については、都市部では多くの利用者を効率よく移動させ、さまざまな目的を持った利用者のニーズにも応えられるものが望まれており、鉄道、バス、その他の交通機関の有機的な連携が必要と考えられる。地方では、交通手段自体が限定されており、実態としては利便性で勝る自家用自動車に頼らざるを得ないのが実態であるが、MaaS により、よりコンパクトで機動性の高いモビリティを効率よく稼働させることで、低コ

²³ 国土交通省 「地域公共交通の活性化及び再生に関する法律等の一部を改正する法律（令和 5 年法律第 18 号）」（参照 2024.12）

<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/transport/content/001618240.pdf>

²⁴ 国土交通省総合政策局：日本版 MaaS の推進に向けて（参照 2025.2）

<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/japanmaas/promotion/>



図 3-2 MaaS とは

ストかつ利便性の高い交通ネットワークを実現しようとしている。

MaaS の実現および提供には、スマートフォンやデジタルインフラの整備・普及のほか、鉄道やバスの運行情報、タクシーの位置情報、道路の交通情報などの移動・交通に関する大規模なデータをオープン化し、整備・連携することが必要である。ユーザーの経路検索・改札通過等の移動履歴や支払い情報などのパーソナルデータの活用、ドライバー不足を補うための自動運転やコンパクト・モビリティ、電気自動車（EV）などのクルマのイノベーション、効率的な移動手段を分析、提案、改善するための AI の活用など、いま急激に発展しつつある各種の技術が交差するサービスといえる。

MaaS の市場規模は今後急速に拡大していくと考えられる（図 3-4）。この図に示すように 2030 年には国内市場が約 6 兆円、図 3-3 に示すように 2050 年までには世界市場が約

900 兆円にまで拡大するとの予測もある²⁵。

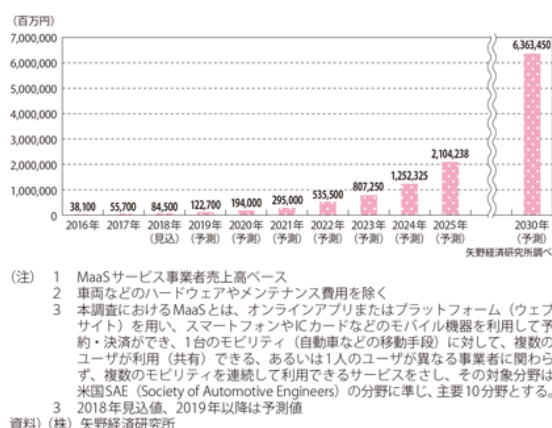


図 3-3 MaaS の市場予測（国内）

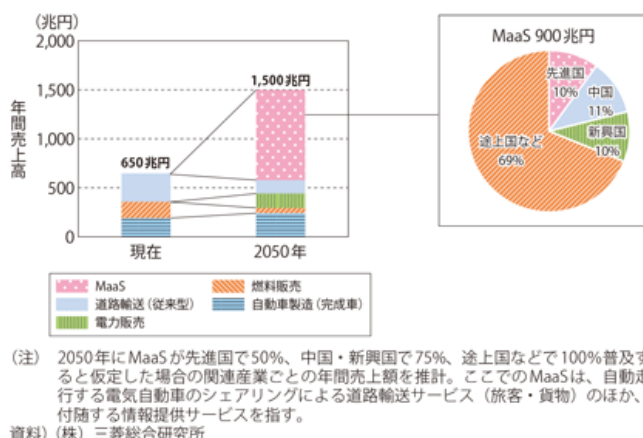


図 3-4 MaaS の市場予測（世界）

MaaS 市場にはゼロから立ち上がるサービスが多いことが想定されるが、その成長率は高くなるものと推測され、市場としてはモビリティサービス、MaaS プラットフォーム、アプリ事業があげられる。

都市部と地方における MaaS の導入について、その事業で期待していることと導入における課題に関する取組みの現状について整理する。

都市における MaaS に期待する導入目的は、以下のようなものがあげられる。

- ① 多くの車両や人が集中して発生する渋滞を回避し、多くの人を効率よく目的地に移動させるための手段の提供
- ② 東京や京都など国際的な観光地での移動・活用の利便性のさらなる向上
- ③ 都市内部に多数居住する高齢者に対するきめ細かな生活維持のための移動や情報手段の提供
- ④ コロナ禍のような感染症対策として密集回避など移動時の安全確保

一方、地方においての導入目的は、ほぼ逆の条件下における利便性や効率化であり、大きく以下のように整理できる。

- ① 中核市とその周辺に広く利用者が分散する域内において利便性を落とさず効率よく移動・生活する手段の提供
- ② 十分に活用されていない観光資源を発掘し連携させることによる周遊型観光の実現と、観光産業の振興と生活者の交通の両方の利便性の向上
- ③ 広い範囲に分散的に居住する高齢者に対して、災害時でも安心して生活できる生活・移動手段の提供。

²⁵ 国土交通省 「国土交通白書 2020」（参照 2024.12）

<https://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/r01/hakusho/r02/html/n1213000.html#:~:text=%E7%AC%AC1%E7%AF%80%20%E7%A4%BE%E4%BC%9A%E6%A7%8B%E9%80%A0%E3%81%AB%E9%96%A2%E3%81%99%E3%82%8B%E4%BA%88%E6%B8%AC&text=%E4%BB%8A%E5%BE%8C%E3%80%81MaaS%E3%81%AE%E5%B8%82%E5%A0%B4%E8%A6%8F%E6%A8%A1,2%2D1%2D15%EF%BC%89%E3%80%82>

表 3-1 都市と地方における MaaS 導入の比較²⁶ は都市と地方に分類して整理したものである。このうち、対象とするモビリティや適用技術については、両者には明確な差は見られず、都市部でも地方でも用いる MaaS のアプリには大きな差はないものと考えられる。

表 3-1 都市と地方における MaaS 導入の比較

	都市部	地方
対象範囲	比較的狭い	広域に及ぶことが多い
利用人口数	多い (狭い範囲に多数の利用者が集中)	少ない (広域に少数の利用者が分散)
導入目的	交通利便性の向上・渋滞回避 観光客の利便性向上 都市再生（高齢化対策） ファースト・ラストワンマイル対策	交通の維持・利便性向上 観光促進・周遊型観光の実現 地域コミュニティ維持 ファースト・ラストワンマイル対策
事業主体	行政・民間連携、民間	行政・民間連携
交通手段	バス、タクシー、鉄道、シェアカーなど	コミュニティバス、乗合タクシー、など
評価指標	専用サイトアクセス数、利用者数、アンケートによる満足度調査など	専用サイトアクセス数、利用者数、アンケートによる満足度調査など
適用技術	スマートフォン、専用アプリ、各種センサ、AI による情報提供など	スマートフォン、専用アプリ、各種センサ、AI 配車システムなど

現在、さまざまな実証実験が行われる中で、都市・地方を問わず、まずは MaaS の認知度の向上や利用者数の増加が必要であるとされている。また、基本的にスマートフォンを利用したシステムが中心であるため、こうしたデバイスの操作に慣れていない高齢者などへのサービスへの展開なども現状における課題である。本来は自動運転により大幅に効率化が図れる部分などもあるが、これについては技術面と合わせて制度面が整備されていないことが課題として挙げられる。

²⁶ 一般財団法人エンジニアリング協会 地下開発利用研究センター：ENAA GEC2022-P1 2022 年度ポストコロナの環境変化を考慮した地下インフラ再構築の調査研究 報告書 2023 年 3 月

3.2 生活における人流

3.2.1 陸海空のモビリティを連携した MaaS

MaaS は 3.1 で記したように、地域住民や旅行者一人一人の移動ニーズに対応して、複数の公共交通やそれ以外の移動サービスを最適に組み合わせて検索・予約・決済等を一括で行うサービスで、交通以外のサービス等との連携によって移動の利便性向上や地域の課題解決にも資する重要な手段となる（図 3-2 参照）。

MaaS の連携により、移動時の利便性向上のほか、高齢者等の移動困難者に係る移動手段の確保や交通安全の向上、外出機会の創出等が期待される。さらに、小売・飲食等

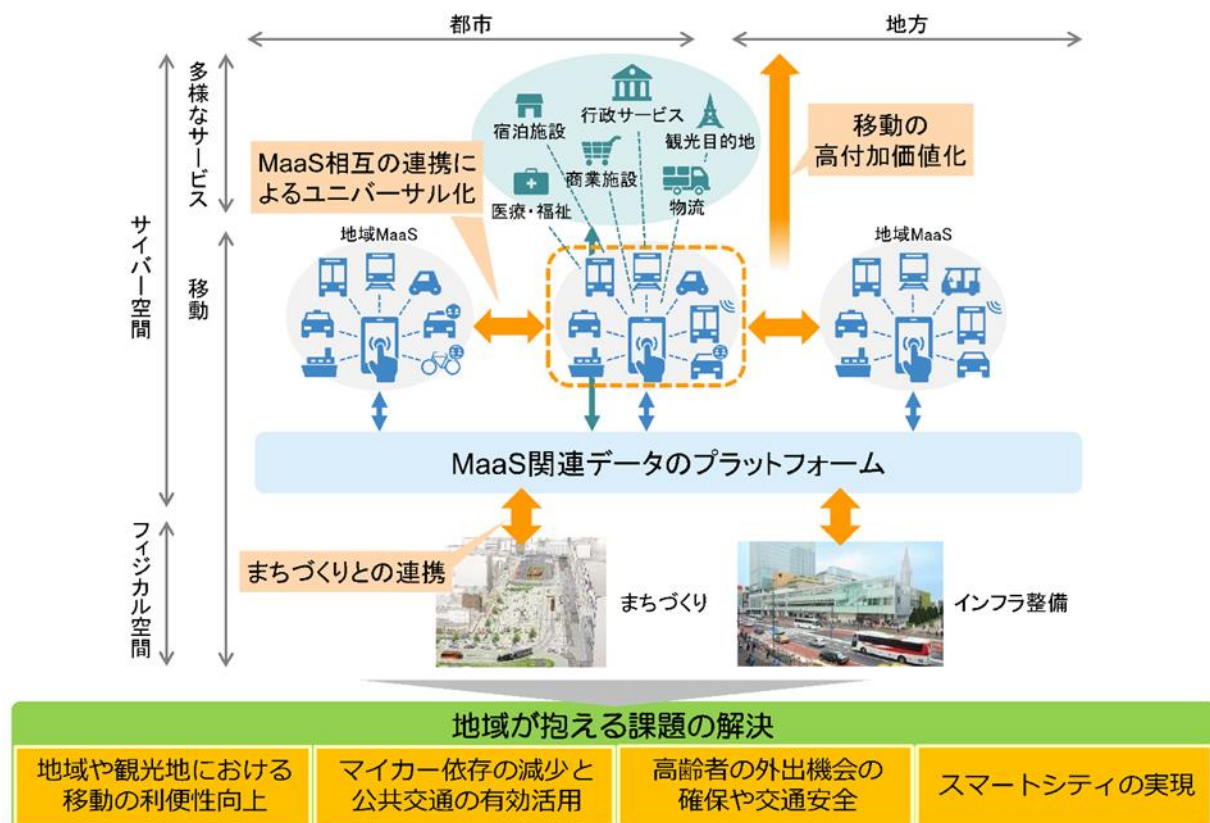


図 3-5 日本版 MaaS の実現²⁷

の商業、観光のほか、医療、福祉、教育、一般行政サービス等との連携により、移動自体の高付加価値化が図られる。

また、図 3-5 に示すような連携により移動の活発化、地域の活性化、都市部の混雑緩和、空間利用の効率化等につながり、環境負荷の低減やスマートシティの実現が期待される。MaaS により公共交通やまちづくりの施策が高度化されると、人の移動効率化、移動範囲

²⁷ 国土交通省総合政策局：日本版 MaaS の推進に向けて，2020.2.4

の拡大、新たな需要の開拓も期待できる²⁸。

(1) 実証実験

国土交通省は、地域特性に応じた社会実装、広域化、他分野連携、データ利活用等を図る取組みとして、令和元年度以降、図 3-6 に示す先行モデルをはじめとして、全国 90 か所で実証実験を行っている²⁹。また、沿岸・離島地域では、令和 3 年度以降、企業、大学・研究機関、地方公共団体、関係府省等を対象とする「海の次世代モビリティ情報プラットフォーム」を設置し、ASV(小型無人ボート)、AUV(自律型無人潜水機)、ROV(遠隔操作型無人潜水機)等「海の次世代モビリティ」について、その技術・知見の活用および現地に実装するための実証実験を行っている。

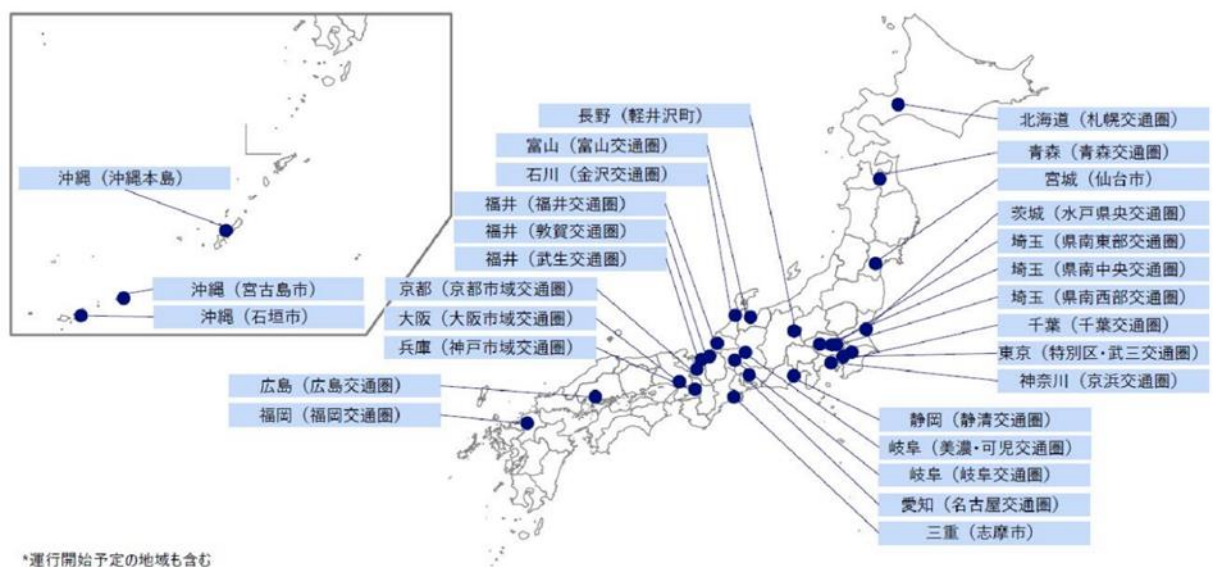


図 3-6 日本版ライドシェア運行開始地域(2024.8.31 時点)²⁹

(2) 連携による効果

モビリティサービスのデータが共有、連携されることにより、移動だけでなく、目的地での活動も含めた精度の高い人流関連データを地域で把握することが可能となる。これらのデータを活用することで、ニーズに対応した公共交通ネットワークの再編、効果的なまちづくり、インフラ整備が図りやすくなり、さまざまな地域課題の解決や地域の経済、コミュニティの活性化に寄与することも期待できる。具体的には、MaaS のデータ連携により、次のような効果が期待されている³⁰。

- ① 複数の駅・バス停ごとの経路・ダイヤの確認が不用になり、スマホのアプリ上で運賃一括支払いが可能になる。

²⁸ 国土交通省総合政策局：日本版 MaaS の推進に向けて, 2020.2.4

²⁹ 国土交通省「交通空白」解消本部：資料 1, 第 2 回, 2024.9.4

³⁰ 国土交通省総合政策局：MaaS 関連データの連携に関するガイドライン Ver. 3, 2023.3.31

- ② MaaS で蓄積される移動データを地域の交通計画やまちづくりへ活用できる。
- ③ 都市の交通渋滞の緩和、環境負荷の軽減につながる。
- ④ 交通サービスプロバイダーや技術企業に新しい市場と収益モデルの機会を提供することができる。

なお、国内外において異なる事業者が連携した MaaS が既に実施されており、国内事例としては以下のようなものがある。

- ① 九州旅客鉄道株式会社と宮崎交通株式会社が共同で設置したデジタルサイネージを提供し、列車およびバスの運行情報が一元化して見られる。
- ② 「川崎・箱根観光 MaaS 実証実験」では、電車、バス、タクシー、シェアサイクルなど複数の交通手段を組み合わせた経路検索および電子チケット「デジタル箱根フリーパス」が利用可能となっている。
- ③ 「九州 MaaS」は、九州各県および約 80 の交通事業者・団体が参加する国内最大規模の次世代移動サービス構想で、2024 年 4 月に設立され、「共創」として、交通事業者同士のみならず、地域交通・まちづくりのベースとなる各自治体の政策との連携し、観光や商業、医療など移動の目的となるさまざまな地域のコンテンツと連携した新たな移動ニーズの創出を目指している。

一方、海外でもさまざまな取り組みがなされており、その代表的な事例³¹としては、以下のようなものがある。

- ① フィンランドでは、MaaS アプリ「Whim」が導入されており、これによりヘルシンキにおける公共交通の利用率が大幅に向上した。
- ② シンガポールでは、政府主導で MaaS の実装が進められており、交通データのリアルタイム解析を活用したスマート交通システムが整備されている。
- ③ ロンドンでは Citymapper という MaaS アプリが利用可能である。
- ④ ニューヨーク市のバス、地下鉄、シェアライドなどを一元管理する MTA (Metropolitan Transportation Authority) アプリが利用可能となっている。
- ⑤ ブリュッセルでは 2021 年 1 月から幹線道路を除く道路を対象に、最高速度を時速 30km に規制、ヘルシンキでも街中では時速 30km 規制がある。なお、同様な取り組みとしては、東京も最高速度を時速 30km に抑える「ゾーン 30」という速度規制の仕組み「ビジョン・ゼロ」が実施されている。

(3) 連携の課題と対応

連携のための障壁として、日本の公共交通機関の運営体制の複雑さが挙げられる。地域ごと、あるいは路線ごとに異なる運営主体が存在し、それぞれが独自のシステムやデータを持っているため、異なる運営主体間でのデータの共有や連携が難しく、統一されたサービスの提供が困難である。このため、次のような課題がある。

³¹ Reinforz Insight：次世代の移動革命：エレクトリックモビリティと MaaS の未来（参照 2024.10）
<https://reinforz.co.jp/bizmedia/47709/>

- ① 異なる交通事業者等のサービス、データ連携、調整が必要である。
- ② キャッシュレス決済に未対応な交通モードがある。
- ③ 過疎地など交通手段に地域差がある。特に地方部のバス事業の収支率は低い水準にあり、低賃金、長時間労働などによって自動車運転者を志望する人が減り、人手不足が深刻化、バスの輸送人員が減少している。
- ④ MaaS 導入のための初期投資、インフラ整備や技術開発にかかるコストが高い。
- ⑤ 社会的な課題として、自家用車を中心とした交通文化から脱却し、公共交通機関やシェアリングエコノミーを基盤とした新たな交通インフラ、MaaS の利便性をどのように伝え、利用を促進することが必要である。

これらの課題に対して、次のような対応が考えられている。

- ① 事業者間のデータ連携について、連携データの範囲およびルール of 整備、データ形式の標準化、API 仕様（他のシステムの機能やデータを安全に利用するための接続方式）の標準化・設定、データプラットフォームの実現、災害時の情報提供等データの公益的利用、既存の行政手続きなどについて見直しを行う。
- ② 運賃・料金の柔軟化、キャッシュレス化に対しては、サブスクリプション（定額制）、事前確定運賃、ダイナミックプライシング、現時点の MaaS に関する法制上の整理、MaaS の展開を見据えた制度のあり方、決済方法、利用を促進するための補助金、税制優遇措置の導入などの導入が検討されている。例えば、サブスクリプションサービスを採用している台湾の高雄市では、利用者が毎月支払っていた交通費が定額制によって下がる一方で、事業者の収入は増えたというレポートもあり、事業者にとっても安定した収入が確保できる可能性がある。
- ③ 新型輸送サービス導入支援事業に対しては、国等によって次のような支援、補助が実施されている。
 - ・ オンデマンド交通、グリーンスローモビリティ
 - ・ シェアサイクル、マイクロモビリティ等
 - ・ 地域交通キャッシュレス決済導入支援
 - ・ 地域交通データ化推進事業
 - ・ 混雑情報提供システム導入支援
 - ・ 新モビリティサービス事業計画策定支援
 - ・ マイナンバーカード活用型交通サービス導入支援

(4) まちづくり・インフラ整備との連携

国土交通省では、MaaS 関連データのプラットフォーム作成を通して、都市・交通政策との整合化、多様なモード間の交通結節点の整備、新型輸送サービスに対応した走行空間の整備（ネットワーク形成）、まちづくり計画への移動データの活用を行い、これによって地域が抱える課題の解決を目指している（図 3-5）。

3.2.2 高齢者の移動確保のためのモビリティと MaaS（都市と地方）

最近、高齢者が運転する車の逆走や衝突事故が多く発生している。このため、社会的にも高齢者の運転を問題視するムードが高まり、運転免許証を返納するケースが増えている。運転免許を返納すると日常の移動手段が公共交通機関に切り替わるため、MaaS による移動の効率化がより求められている。

また、地方鉄道の約 8 割が赤字経営を強いられていて、人員削減などによる経営の合理化も限界に達しており、路線の廃止や事業から撤退する事業者も増えている。バス会社の収支も悪化しており、地方のバス会社の 83% が赤字経営と言われている。これにより、路線の縮小や廃止を余儀なくされる事業者も増えており、マイカーでの移動をあきらめた高齢者の移動が困難になりつつある。

このような背景に、都市部の道路混雑やドライバー不足、地方部の高齢化に伴う地域の交通サービス縮小や移動そのものの縮小が起こりつつあり、高齢者や IT に不慣れな人々に使いやすいインターフェースの提供やサポート体制の充実が求められる。

これらに対応して、高齢者の移動を確保するため、以下のような新たなサービス、開発が始まっている。

- ① AI、自動運転、空飛ぶ車など新技術による新たな事業展開の可能性、地域差の是正
- ② 電気自動車に必要となるソリッドステートバッテリーの開発
- ③ 空飛ぶクルマにおける機体の安全性向上、運航管理、制御などの安全性、低高度空域の運航密度の向上、高度な情報処理技術を用いた空域監視による安全性の確保、全電源喪失時や天気の急変時など不測の事態への対応
- ④ 電動モビリティの進化と自動車産業、エネルギー、IT、サービス産業などの進展
- ⑤ 有識者等による「都市と地方の新たなモビリティサービス懇談会」等の開催による都市部・地方部における、新たなモビリティサービスの創出

(1) モビリティサービス実現のための新技術の開発

1) ライドシェア

ライドシェアについては、以下のような導入経緯があり、実施による効果が見込まれる。現在、各地で運行が開始されており³²、神奈川県ではライドシェア（案）³³が検討されている（図 3-6）。以下にライドシェアに対する取り組みを示す。

- ① 訪日外国人客数の急増とタクシードライバーの減少を背景に政府がタクシー事業者によるライドシェア解禁を発表した。
- ② 新経済連盟や経済同友会から波及効果の提言がある一方、タクシー業界は安全性に関する懸念を表明している。
- ③ 短期的にはデマンドバスやタクシーの代替として、中期的には自動運転による交

³² 国土交通省「交通空白」解消本部：資料 1，第 2 回，2024.9.4

³³ 神奈川県：神奈川版ライドシェア（案）について，第 1 回 神奈川版ライドシェア検討会議，2023.10.20

通ネットワークの再構築が可能になり、地域社会の活性化が図れる。また、使いやすいアプリが普及すると住民や観光客の負担軽減や安心感につながる。

- ④ 都市部では公共交通機関のドライバーは正規雇用が中心で、突発需要への対応が難しい場面もある。また、一方では若者を中心に免許保有率が低下して自家用車を持たない人も増えている。そのため、通勤時間帯や悪天候の日、催事の時期などの特定時期・時間を対象として、タクシー会社の配車サービスと連動する形でライドシェア需要がある。
- ⑤ 郊外では自家用車の依存度が高く、ライドシェアは現実的でないというアンケート結果もある。ただ、人口減少による運賃収入の減少や、運転手の不足によって公共交通の維持が難しくなるケースも見られ、共働き世代の増加や高齢化によって自家用車による家族内送迎にも限界が来ている。このため、駅から遠く待機タクシーがない地区などに絞って、タクシーの営業が少ない夜間・早朝を中心にライドシェアを提供すれば、こうした課題の改善につながる可能性がある。
- ⑥ 都市部、郊外でも時給 2,000 円の収入があれば利用ニーズを満たすドライバーを集め得るとされている³⁴。
- ⑦ 想定通りにライドシェアが普及すれば、運転時間の削減によって全国で 9,150 億円相当の時間価値が創出されるとともに、赤字の公共交通の代替によって 23 億円、外出促進により消費活動が活性化されて 919 億円、ドライバーの自家用車の購入増加で 3,247 億円と、経済活動の変化によって、700 億円～4,200 億円の経済効果が生まれる。

また、ライドシェア普及の先には、自動運転タクシー（ロボタクシー）の社会実装がある。大都市部以外におけるバス事業は、コロナ禍前の 2018 年度でも 496 億円の赤字が出ており、自動運転車両を路線バス並みの運賃で利用できるようになれば、長期的な赤字に悩む郊外や中山間地域のバス事業において、年あたり 431 億円の収支改善が期待される³⁴。

2) 自動運転

従来の交通機関を使った移動を最適化しても、それは MaaS の完成ではなく、すでにある交通網の範囲内でしか移動ができない。それに対して、自動運転のタクシーやパーソナルモビリティを取り入れ、それらを一元管理することで一人ひとりのニーズに合わせた柔軟なルート案内が可能になる。このため、次のような取組が始まっている。

- ① 政府は 2024 年度中にレベル 4 の自動運転移動サービスを全国 10 箇所で社会実装する方針を示した³⁵。
- ② 大阪メトロが大阪市内を走る路線バスでは初めて、自動運転による運行を開始し

³⁴ 株式会社野村総合研究所：ライドシェアの社会的な意義と効果、第 372 回メディアフォーラム、2024.3.7

³⁵ NHK：レベル 4 自動運転サービス 今年度中に全国 10 か所程度に拡大へ、（参照 2024.7）
<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20240731/k10014531401000.html>

た。京橋駅前を起点に大阪城周辺をまわるルートと、京橋駅前と森ノ宮を直通する2つのルートでレベル2の自動運転を行っているものである。

- ③ 東京都の事業である「自動運転技術を活用したビジネスモデル構築に関するプロジェクト」では、訪日外国人を対象として、成田空港や羽田空港から中央区の東京シティ・エアターミナルまでリムジンバスで移動し、そこから丸の内パークビルまで自動運転タクシーで走行、自動運転モビリティに乗り換えて目的地まで向かう実験が行われている³⁶。
- ④ トヨタは、自動運転と MaaS を融合させた「Autono-MaaS」を具現化するコンセプトカー「e-Palette（イーパレット）」（図 3-7）を試作し、ライドシェア用のほか、ホテル仕様、リテールショップ仕様など複数のデザインの車両で電動化、コネクテッド化、自動運転化が施されている。異なるサイズの車両も可能で、用途や乗車人数によって選択することができる点も特徴である。



図 3-7 自動運転車 e-Palette³⁷

3) 空飛ぶ車

「空飛ぶクルマ」は、さまざまな社会課題の解決、人々が日常生活の中で、安全で自由な空の移動という体験を享受できる未来社会の実現に貢献し、次のような効果がある³⁸。

- ① 地方におけるオンデマンドな運航、都市部における高密度・高頻度な運航、都市間・地域間を結ぶ比較的長距離の運航、といった多様な運航形態
- ② 主要都市における交通拠点からの二次交通、都市間交通、都市・地域の域内交通、救命救急や災害時等の緊急輸送、拠点間物流、といった多様なユースケース
- ③ 都市・地域の身近な場所における空飛ぶクルマへのアクセス
- ④ 空飛ぶクルマを含めた空・海・陸のモビリティがシームレスに接続された MaaS の実現

³⁶ 日本工営株式会社：令和 6 年度 臨海副都心における自動運転技術を活用したサービスの構築に関するプロジェクト

³⁷ トヨタ自動車株式会社：実用化に向け進化した e-Palette を公開、（参照 2022.11）
<https://global.toyota.jp/newsroom/corporate/34527255.html>,

³⁸ 国土交通省：2040 年、道路の景色が変わる，社会資本整備審議会道路分科会基本政策部会提言，2020.6.18

(2) 新技術開発の課題

国土交通省の資料によると、空飛ぶクルマは都市部での送迎サービスや離島・山間部での新たな移動手段、ドクターヘリとして期待され、2040年までに市場規模が約160兆円にものぼると予測している。また、次のような課題や実装の流れが示されている³⁹。

1) 安全性の担保

自動・自律飛行の実現に向けた機体や地上インフラ等の技術開発の推進と共に、安全性を担保するための認証基準、操縦士の技能証明や運航ルール、離着陸場、事業許可等の制度整備のほか、セーフティマネジメントシステム（SMS）を通じた組織としての安全性向上の取組みを進める必要がある。

2) コストの低減

電動化・自動化により、従来のヘリコプターよりも機体コスト・運航コストの低減が期待されている。また、導入エリアの拡大、路線・運航頻度の増加と、それに伴う機体の市場投入数の増加・量産化により、機体価格や運賃が低下すれば、誰もが気軽に利用可能な身近なモビリティが実現される。

3) ヘリコプターや空飛ぶ車の電動化と環境整備

- ① 従来のヘリコプターより静粛性が向上することを踏まえ、騒音環境負荷に配慮された飛行経路等の設計が重要である。また、電動化による環境負荷低減の効果を高めるため、バッテリー廃棄量の低減への取組みや電源のゼロエミッション化による気候変動対策への寄与を進めることが重要である。
- ② 都市部、地方部を含めた離着陸場所の確保は、空飛ぶクルマの事業展開において不可欠であり、特に市街地のビル屋上など、ユーザにとって利用しやすい場所に離着陸場を整備するための取組みが不可欠である。また、空港へのアクセスなど需要の高い飛行経路の設定や定時制・オンデマンド性の高い運航の実現に資する航空交通管理についても検討が必要である。
- ③ 地上交通との接続性の向上や MaaS の実現等、利便性の向上に資するサービスの検討が必要である。
- ④ 社会受容性の確保が必要である。空飛ぶクルマの安全性への理解を深めると共に、地域への効用の最大化と副作用の最小化を図る必要がある。その際、地域住民とのコミュニケーションの促進が重要であり、地域と連携した取組みが重要である。

(3) 新技術実装の流れと現状

(2)で挙げた課題に対して、国土交通省により、表 3-2 に示すように実現イメージ、飛行エリア、使用機体、操縦方法ほかの中長期的な実装の流れが示されている。

これらの課題や実装の流れに対して、現状では次のような動きがある。

- ① 垂直離着陸が可能な世界最小クラスのエアモビリティ、SkyDrive が 2026 年に型式証明を取得し、事業を開始する計画であり、航続距離は現状で約 15km 程度で

³⁹ 国土交通省：国土交通白書, 2020.8.19

ある。小型で垂直離着陸するため、公園、駅前、コンビニやショッピングモール、ビルの屋上など既存設備の多くの場所をポートに利用可能であるとしている（図 3-8）。

- ② 有人機事業に関しては、空の移動革命官民協議会が策定した「空の移動革命に向けたロードマップ」で事業化に向けた制度設計が進んでいる⁴⁰。
- ③ 一極集中型の都市設計自体が変わってゆくと考えられ、住みやすく渋滞の少ない中規模の都市を空飛ぶクルマが高速で結ぶ「分散型都市モデル」が検討されている。
- ④ 空飛ぶクルマ専用の空路（UAM コリドー）整備が進んでいる。

なお、海外事例としては、次のような動きがある。

- ① 米連邦航空局（FAA）の AAM（空飛ぶクルマの総称）振興を行う連邦政府省庁間協議会によると、2028 年のロサンゼルス・オリンピックでの本格的な定期運行を準備している。
- ② 欧州航空安全機関（EASA）を中心とする「U-Space」プロジェクトでは、パリで開催されたオリンピックにおいてドイツ製 Volocity を使って空飛ぶクルマのテスト飛行が行われた。イギリスでは、Vertical Aerospace 社の VX4 が、2026 年ロンドンでの就航を目指している。



図 3-8 空飛ぶ車「SD-05」

⁴⁰ 国土交通省：目指すべき絵姿と中長期的な実装の流れ，空の移動革命に向けた官民協議会 ユースケース検討会，2022.3

表 3-2 空飛ぶ車の中長期的な実装の流れ⁴¹



⁴¹ 国土交通省：国土交通白書，2020.8.19



図 3-9 空飛ぶ車の運航支援⁴²

3.2.3 地下街等人口密集地における安全・安心・快適な人流（新設と改造）

(1) 道路政策転換

道路政策転換として、以下のような方針が示されている。

- ① 2040 年に向けて、地域の基礎的インフラである道路をデジタル技術をフル活用して機能を進化させ、子供が遊び、井戸端会議を行う等の人々の交流の場、コミュニケーション空間として回帰させる⁴³。
- ② 通勤、帰宅ラッシュを低減し、人・モノの移動手段が自動化・無人化される。
- ③ 飲食店やスーパーが顧客の求めに応じて移動し、道路の路側で営業できる。
- ④ 災害モード時においても道路ネットワークとして交通・通信・電力を途絶することなく確保される。

(2) 持続可能な社会の姿と政策の方向性

人流が多い地域や場所における持続可能な環境と政策の方向性を以下に示す。

- ① 日本全国どこにいても、誰もが自由に移動、交流、社会参加できる環境づくりを創出し、世界と人・モノ・サービスが行き交うことで活力を生み出す。
- ② 国土の災害脆弱性とインフラ老朽化を克服して安全、安心に暮らせる社会を実現する。

上記の方向性を受けて、安全・快適なまちづくりを推進している事例を以下に示す。

- ① 品川区、NPO まちづくり大井が提案する「歩きたくなるダイナミック都市空間」へのトランスフォーメーションを共創するデジタル技術と地域資源を融合、創出に資する未来型まちづくりモデルや立川エリアの「回遊性のある観光コンテンツ

⁴² NEC：business leaders square wisdom, 実用化目前！“日本発”空飛ぶクルマが挑む空のモビリティ革命（参照 2024.2）

<https://wisdom.nec.com/ja/feature/smartcity/>

⁴³ 国土交通省：2040 年、道路の景色が変わる，社会資本整備審議会道路分科会基本政策部会提言，2020.6.18

構築」などの取組を実現する⁴⁴。

- ② 神戸大学、NSRI、創発システム研究所が開発した次世代の空調制御技術は、環境省の「CO₂ 排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業」に採択されており、人の行動を予測して地下街の空気の流れを制御するものである。この技術実証実験は、三宮地下街「さんちか」を対象に人流・気流センサ、AI 技術を用いて混雑する地下街の大気 CO₂ を 50%削減し、環境を快適にする目的で行われた(図 3-10)⁴⁵。

- ③ 東京駅前 3 地区再開発事業は、図 3-11 に示すように、JR 東京駅八重洲口前の「東京駅前八重洲 1 丁目東地区」「東京ミッドタウン八重洲」「八重洲 2 丁目中地区」の第 1 種市街地再開発事業が 2024 年 8 月 8 日に八重洲二丁目中地区市街地再開発組合、鹿島、住友不動産、都市再生機構、阪急阪神不動産、ヒューリック、三井不動産により着工され、2029 年 1 月末の竣工を目指すものである。

この事業により、オフィスや店舗、劇場、インターナショナルスクール、バスターミナル、駐車場等ができ、八重洲 2 丁目中地区は東京駅と京橋・銀座方面を結ぶ回遊動線の要になる。隣の東京ミッドタウン八重洲や東京駅の地下から続く八重洲地下街、京橋側の複合施設「京橋エドグラン」と、いずれも地下通路で接続される。

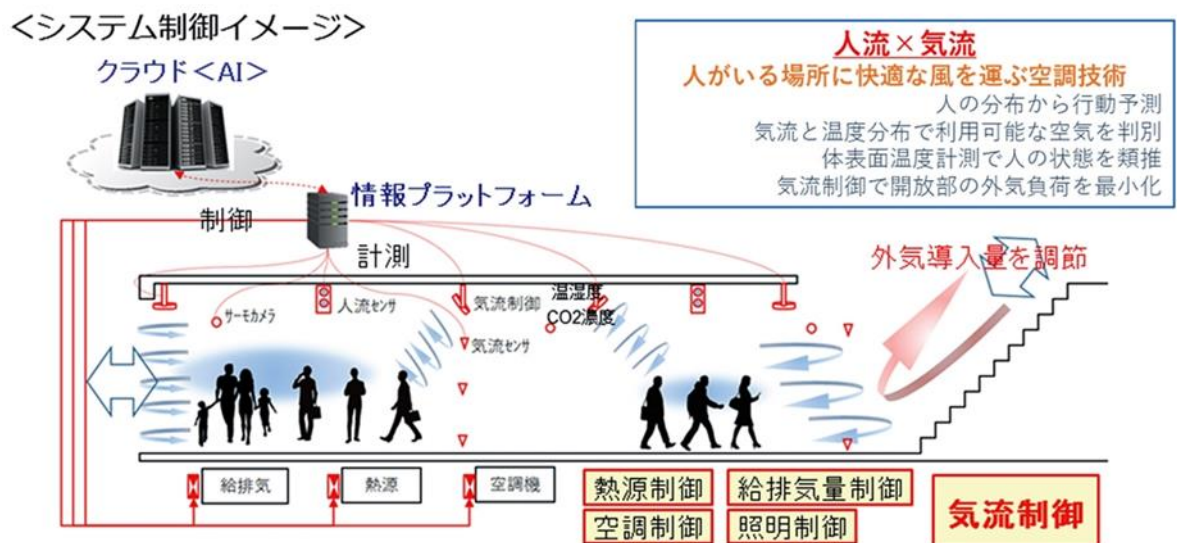


図 3-10 地下街の人流・気流システム制御のイメージ

⁴⁴ 東京都：「地域を主体とするスマート東京先進事例創出事業」支援プロジェクト（参照 24.10）
<https://www.metro.tokyo.lg.jp/tosei/hodohappyo/press/2024/10/21/06.html>,

⁴⁵ 日経クロステック：屋外への開放部持つ空間の空調制御、IoT と AI で効率（参照 2024.11）
<https://xtech.nikkei.com/dm/atcl/news/16/112009898/>

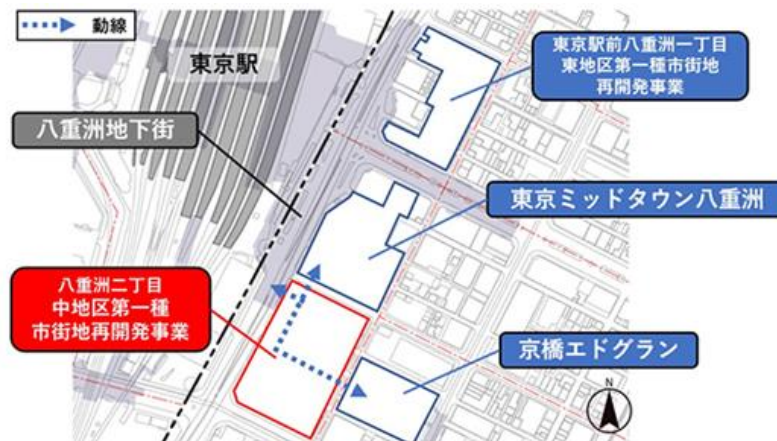


図 3-11 東京駅前 3 地区再開発事業

さらに、東京駅前の地下に整備している高速バスターミナルのうち、7 バースは八重洲 2 丁目中地区に整備し、東京ミッドタウン八重洲と東京駅前八重洲 1 丁目東 B 地区に整備するバスターミナルと一体で運用する。これにより、3 地区合計で 20 バースとなる日本最大級の高速バスターミナルが完成し、利便性、回遊性を確保することとしている（図 3-12）⁴⁶。

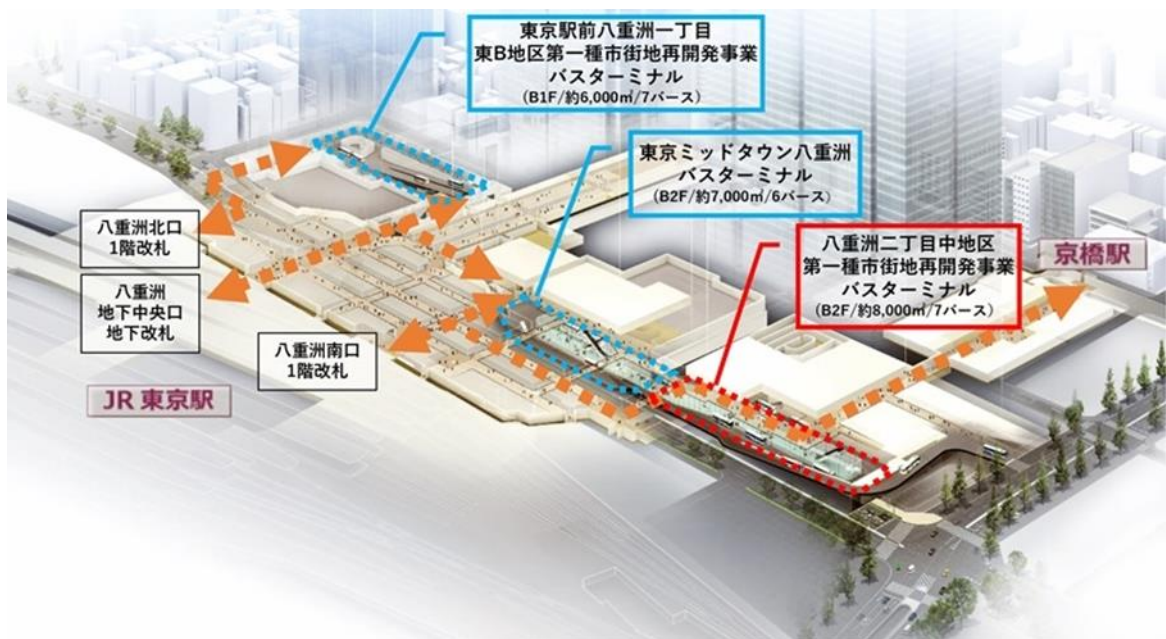


図 3-12 高速バスターミナルと地下通路のイメージ ⁴⁶

⁴⁶ 八重洲二丁目中地区市街地再開発組合、鹿島、住友不動産、都市再生機構、阪急阪神不動産、ヒューリック、三井不動産：東京駅前 3 地区最後の再開発「八重洲 2 丁目中地区」着工（参照 2024.9）

<https://active.nikkeibp.co.jp/atcl/act/19/00007/091900282/>

(3) 未来の交通インフラ

道路は、ライフラインの収容、防災や環境保全、市街地の形成、景観の形成、コミュニティの形成等のための空間を提供している。欧米各国では、社会的距離を確保するために都市部における道路空間を再編成し、歩行者や自転車の通行空間を拡大するなど、道路インフラやその利用方法を変革する取り組みが実施されている。また、国土交通省は、「2040 年、道路の景色が変わる」で、ポストコロナの新しい生活様式や社会経済の変革を見据え、概ね 20 年後の日本社会を念頭に、道路政策を通じて実現を目指す社会像とその実現に向けた中長期的な政策の方向性を提案している⁴⁷。

この中で、道路について 5 つの将来像が提案されている（図 3-13）。

- ① 通信の高速大容量化が進展し、テレワークや、ホログラム（投影）技術によるバーチャルコミュニケーションが普及し、通勤・帰宅ラッシュが消滅する。
- ② 旅行、散策、健康のためのウォーキングやランニング等の「楽しむ移動」が増加し、国土面積の約 3% を占める道路空間が壮大な「アメニティ空間」としてポテンシャルを発揮する公園のような道路に人が溢れる。
- ③ 車による人の移動は「自動運転車による移動サービス」が担う。e コマースの浸透により買い物目的の人の移動が減少する一方、物流の小口配送が増加する。自動化の進展が無人物流を普及させ、「小型自動ロボット」や「ドローン」が道路やその上空を自在に移動する。
- ④ 自動運転の実現により、営業しながらの移動が可能となった飲食店、医院、クリーニング、スーパー、教育施設等の小型店舗型サービスが顧客の求めに応じて道路を移動するようになる。それらの店舗は、曜日や時間に応じて、道路の路側に停車し営業を行い、まちが時々刻々と変化する。
- ⑤ 道路ネットワークが平時にも災害時にも安定的に機能を発揮する。耐災害性能が強化された道路ネットワークは災害発生時には速やかに災害モードに切り替わる。災害時のオペレーションに必要な電力および通信は途絶せず、避難、救援、物資輸送等に係る交通が確実にモニタリング・誘導され、人命救助、被災地の速やかな復旧に最大限の力を発揮する。

⁴⁷ 国土交通省：2040 年、道路の景色が変わる～人々の幸せにつながる道路～2022.8.31

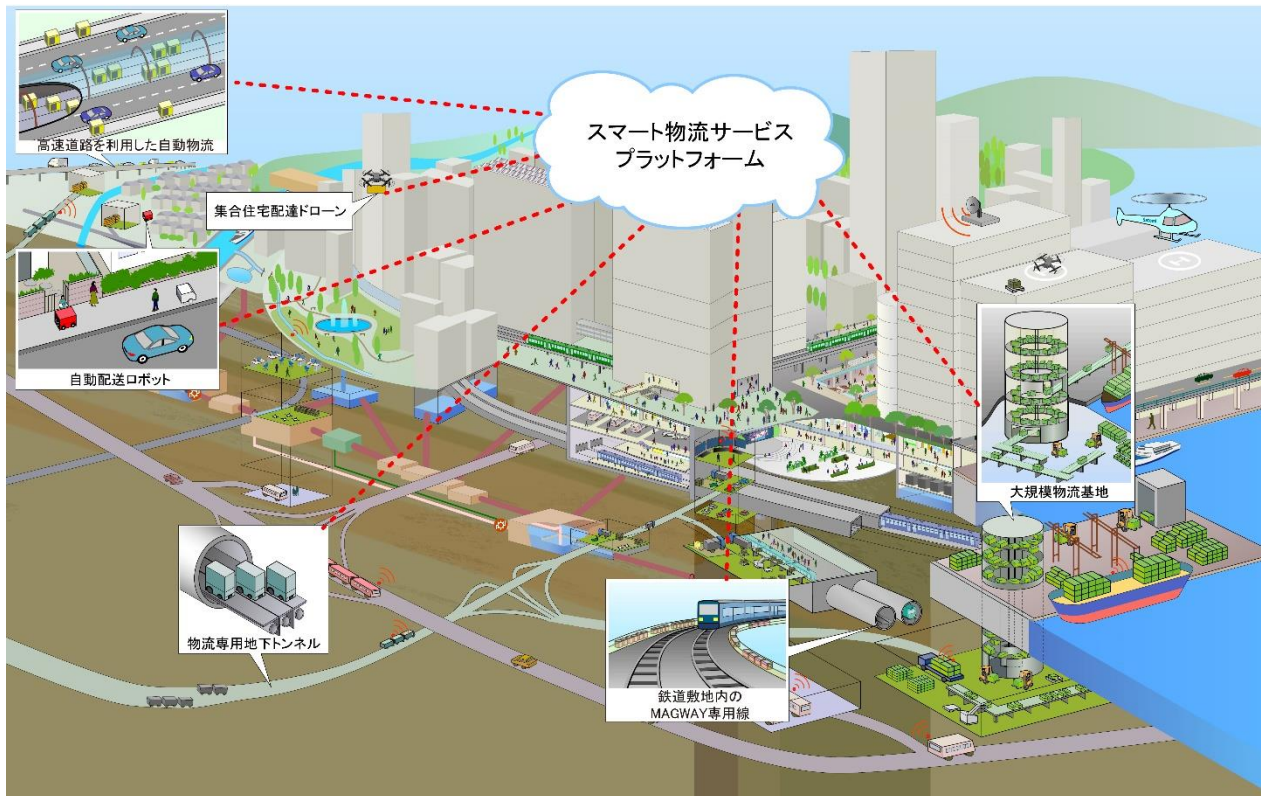


図 3-15 都心ターミナルにおける未来の地下インフラ

3.3 観光における人流

3.3.1 我が国の観光施策の概要

わが国では、観光立国推進基本法に基づき「観光立国推進基本計画」⁴⁹を立案し、観光を主要な産業として位置付けたさまざまな施策に取り組んでおり、海外からの観光客をさらに拡大し、2030年までに6,000万人、15兆円の消費を目標に掲げている。こうした施策の影響もあり、近年、海外からの観光客は急速に増大しており、その弊害もクローズアップされている。しかし、世界的に見た場合、我が国における海外からの受入れ観光客数、観光収入とも高いものではないのが実態である。図 3-16 および図 3-17⁵⁰はそれぞれ海外からの観光客の受け入れ数並びに国際観光収入の2022年のランキングである。この値はコロナ禍の影響が残っているデータではあるが、世界での受入れ観光客数のトップはフランスで、7,940万人、観光収入は米国の1,369億米ドルと圧倒的に高い値となっている。これに対して、日本は、観光客の受け入れ数で383万人、観光収入は92億米ドル（1.45兆円）と大きな差がある。なお、新型コロナの影響が大きく減少した2024年の年間訪日観光客数は約3686万人と過去最高値を更新⁵¹し、インバウンド消費額も消費額は8.1兆円⁵²と大きく増加しているが、欧米との差は依然として大きいのが実情である。

しかし、表 3-3 に示した世界経済フォーラム(WEF)による「旅行・観光開発ランキング(2024)」⁵³では、全体の3位であり、非常に高いポイントを取得している。この評価は限られた指標によるものであるが、日本は「文化資源」(Cultural Resources)、「健康と衛生」(Health and Hygiene)、「地上と港湾インフラ」(Ground and Port Infrastructure)、「ICT整備度」(ICT Readiness)、「安全・安心」(Safety and Security)で常に高い評価を得ており、観光における強みとなっている。一方で、「旅行と観光の需要持続可能性」(T&T Demand Sustainability)や「観光サービスとインフラ」(Tourist Services and Infrastructure)の評価が低く、特に、「宿泊施設や飲食店における労働効率性」と「国際旅行者のピークシーズンへの集中度」に関する評価が低くなっている。この背景には、コロナ禍期間中の観光産業からの離職者が多かったことの影響が引き続きの残っていることや、有名観光地への人流の集中などが反映しているものと考えられる。

インバウンドの目標達成のためには、我が国の観光における強みを伸ばしつつ、弱みを克服する必要があるが、取り組むべき課題としては以下のようにまとめられる⁴⁹。

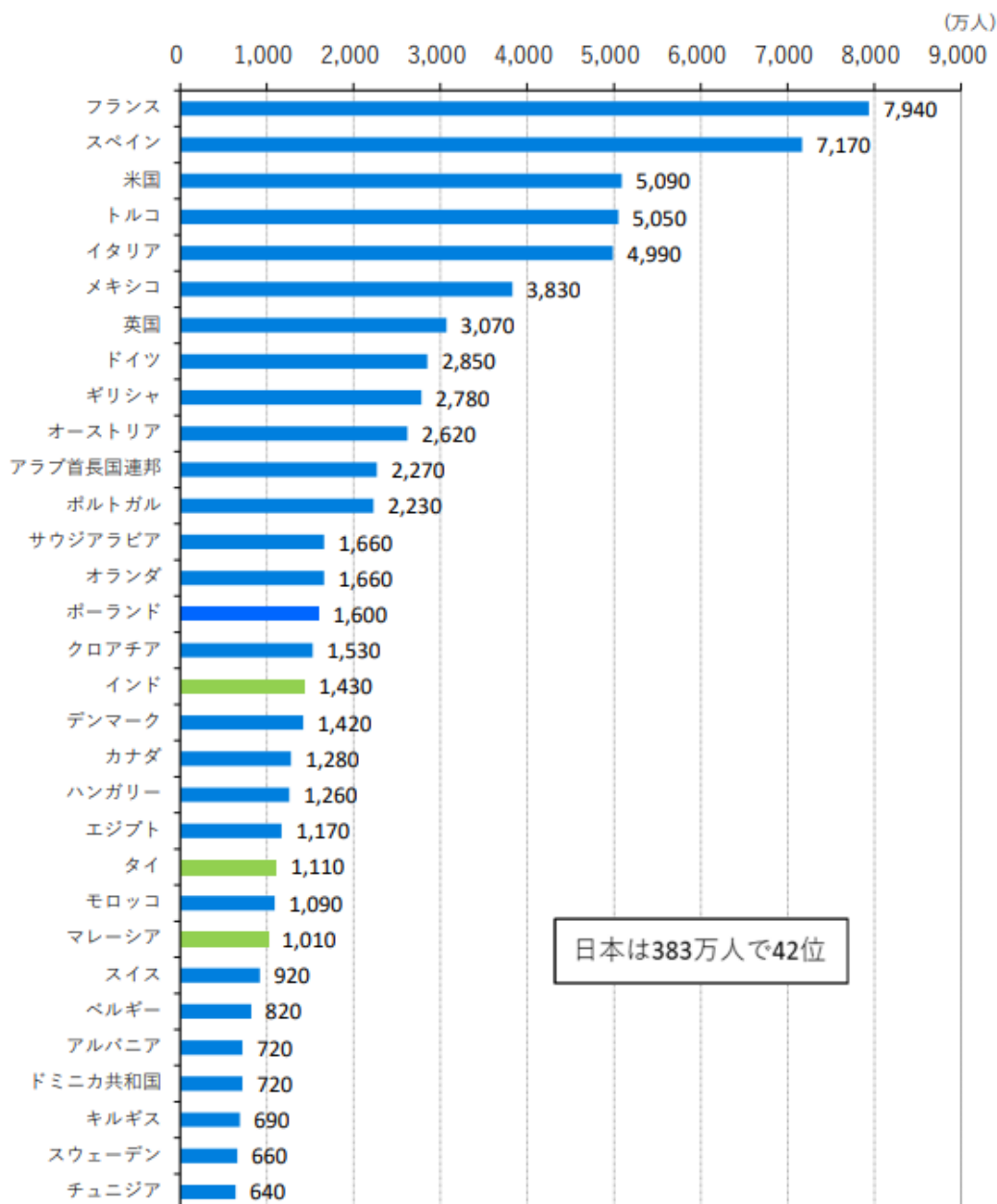
⁴⁹ 国土交通省観光庁 HP：観光立国推進基本計画（参照 2024.12）、
https://www.mlit.go.jp/kankocho/seisaku_seido/kihonkeikaku.html

⁵⁰ 国土交通省：観光白書令和6年版（参照 2024.12）、
<https://www.mlit.go.jp/statistics/content/001748858.pdf>

⁵¹ 日本政府観光局（JNTO）（参照 2024.12）HP：
https://www.jnto.go.jp/news/press/20250115_monthly.html

⁵² 日本経済新聞（参照 2025.1）
<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUA1467L0U5A110C2000000/>

⁵³ 株式会社 JTB 総合研究所：一つの視点（参照 2024.12）
<https://www.tourism.jp/tourism-database/viewpoint/2024/05/tourism-development-ranking/>



資料：世界観光機関（UN Tourism）資料に基づき観光庁作成。

注1：外国人旅行者数は、国・地域ごとに異なる統計基準から算出・公表されているため、これを比較する際には注意を要する。（例：外国籍乗員数（クルー数）について、フランス、米国等の統計には含まれている。）

注2：本表の数値は2024年1月時点の暫定値である。

注3：ロシア、チェコ、中国、アイルランド及びインドネシアは、2022年の数値が未発表であるが、新型コロナウイルス感染症の影響により、2019年以前の数値と大きく異なることが想定されるため、過去の数値を採用しないこととする。

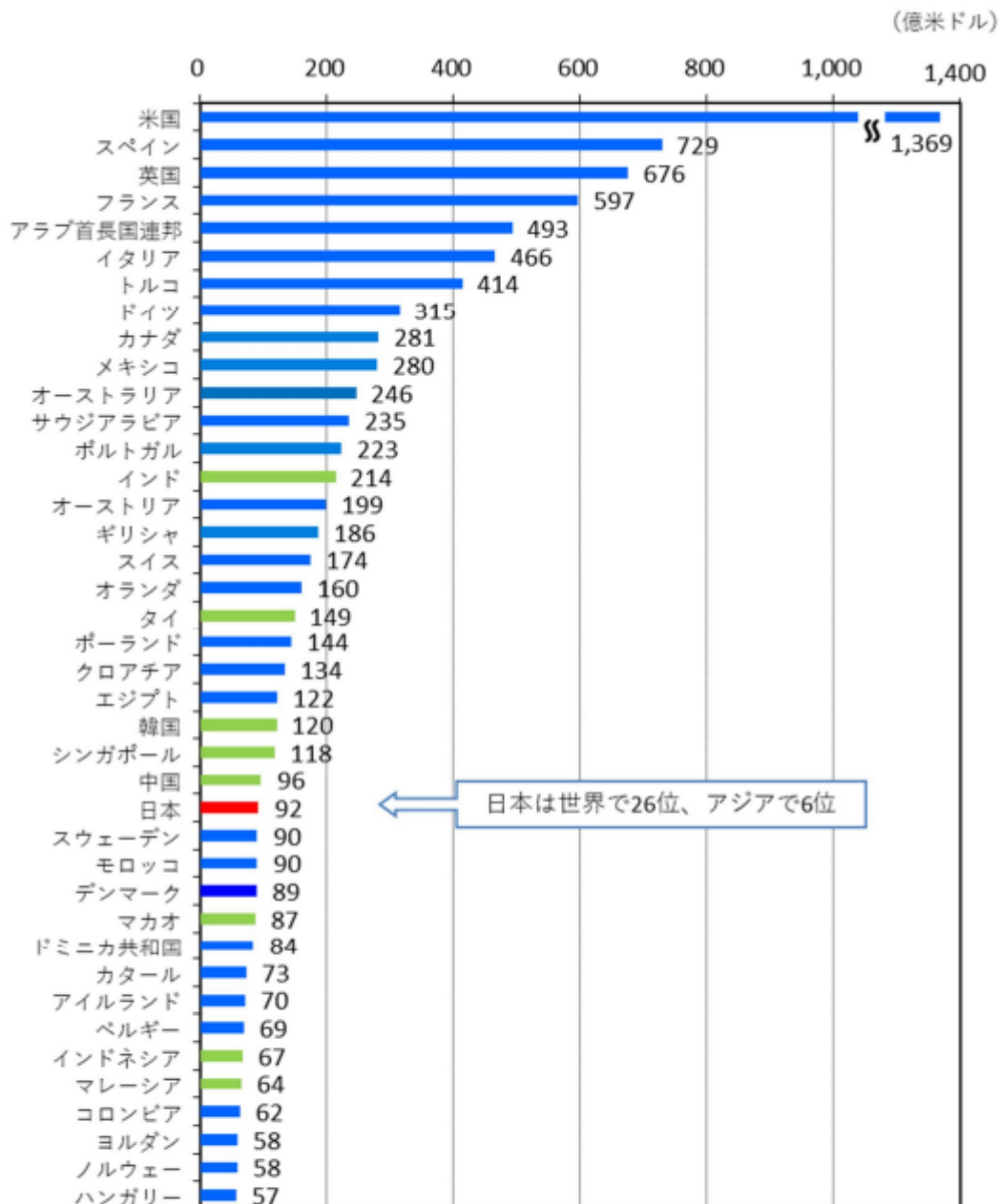
注4：本表で採用した値は、日本及びキルギスを除き、原則的に1泊以上した外国人訪問者数である。

注5：本表の緑のグラフは、アジア地域に属する国・地域である。

注6：外国人旅行者数は、数値が追って新たに発表されることや、遡って更新されることがあるため、数値の採用時期によって、そのつど順位が変わり得る。

² 正式名称は World Tourism Organization。2024年1月に略称を UNWTO から UN Tourism に変更。

図 3-16 外国人観光客の受け入れ数（2022年）⁵⁰



資料：世界観光機関（UN Tourism）、各国政府観光局資料に基づき観光庁作成。

注1：本表の数値は2024年1月時点の暫定値である。

注2：本表の国際観光収入には、国際旅客運賃が含まれていない。

注3：国際観光収入は、数値が追って新たに発表されることや、遡って更新されることがある。

また、国際観光収入を米ドルに換算する際、その時ごとに為替レートの影響を受け、数値が変動する。
そのため、数値の採用時期によって、そのつど順位が変わり得る。

注4：本表の緑のグラフは、アジア地域に属する国・地域である。

図 3-17 外国人観光客の受け入れ数（2022年）⁵⁰

表 3-3 旅行・観光開発ランキング（2024 年）⁵³

		2024	2021	2019
United States	アメリカ	→ 1	1	1
Spain	スペイン	↑ 2	3	2
Japan	日本	↓ 3	2	3
France	フランス	→ 4	4	6
Australia	オーストラリア	↑ 5	6	7
Germany	ドイツ	↓ 6	5	5
United Kingdom	イギリス	↑ 7	8	4
China	中国	↓ 8	7	9
Italy	イタリア	↑ 9	10	12
Switzerland	スイス	↑ 10	11	8

表1 ランキングトップ10（出典：WEF “Travel & Tourism Development Index 2024”よりJTB総合研究所作成）

※2019年、2021年の順位は、2024年の基準で算出したもの

- ① 観光資源として実力を高める
- ② 東アジアから気軽に訪れることができる観光地とする
- ③ 訪日客を中心とした利便性向上

このうち、①においては特に米国、欧州、豪州との競争に勝てる観光資源の開発が必要であり、上記の旅行・観光開発ランキングで高評価を得ている文化資源の向上に努め、「物見遊山」的な観光から、日本固有の文化や生活に触れることができ、「学び」の要素も有する「体験型観光」への転換を進める必要がある。具体的な例としては、「和食」、「酒造り」といった世界文化遺産にも認定された日本固有の食事や酒類を時間をかけて楽しむこと、日本各地に残る伝統的な行事や祭りなどへの参加、桜や紅葉という自然の風景の楽しみ方などが体験型コンテンツとして注目されている。

一方、②に示した近隣のアジア諸国から気軽に楽しむ場所としての施策としては、羽田、成田というハブ空港以外に、地方観光地へのアクセスが容易な地方空港への直行便の整備など、交通インフラの整備が重要となり、合わせて既存のハブ空港の混雑緩和のための施設の改善・整備が課題としてあげられる。

上記に加えて、③の訪日観光客の利便性向上については、観光 DX 戦略が重要となる。ここで、観光 DX とは、「先進的な技術の活用を図りながら観光分野の DX を推進することにより、旅行者の利便性向上及び周遊促進、観光産業の生産性向上、観光地経営の高度化等を図る。」こととされている⁵⁴。具体的には、宿泊、体験等に係る予約・決済を可能とし、個人個人に応じた情報の提供、宿泊事業者における顧客予約管理システム（PMS）の導入等により、旅行者の利便性を向上させると同時に、観光客の予約・移動・宿泊・購買デー

⁵⁴ 観光庁 HP：観光 DX（デジタルトランスフォーメーション）の推進（参照 2024.12）
https://www.mlit.go.jp/kankocho/seisaku_seido/kihonkeikaku/jizoku_kankochi/kanko-dx.html

タ等を用いたマーケティングおよび観光地経営の戦略策定等に反映させる取り組みである。こうした取り組みは、MaaS の概念そのものを活用したものであり、人口減少地域において観光産業が地域創生の切り札としていくうえで、核となるものと考えられる。

3.3.2 観光地の創生・再生事業における地下空間の活用

現在の日本の観光地は、東京、大阪などの大都市と京都、奈良のような世界的な観光地に観光客の大半が集中し、オーバーツーリズムによる諸問題が大きな社会的な課題となっている。一方で、有名観光地の周辺部に存在する観光資源は活用されず、地域衰退が止まらない状態になっているところも少なくない。こうした、状況を改善するために、周遊型観光を推進するために、より広い範囲を対象とした MaaS による取り組みも進められている⁵⁵。ここでは、こうした取り組みにおいて既存の中核観光地間を結ぶ中で、これまで活用されてこなかった観光資源として、さまざまな地下空間の活用を考えてみたい。

観光資源となっている地下空間としては、自然のものとしては、鍾乳洞や風穴のように地質現象として生じたものがあり、大規模なものとしては、秋芳洞や富士の風穴など観光地になっているものも多い。一方、人工的な地下空間の観光資源としての活用は大谷石採掘跡や常磐炭鉱跡の温泉施設などが有名であるが、観光資源としての潜在的な魅力を有しながら、あまり知られていないものも少なくないものと考えられる。

例えば、図 3-18 は志免炭鉱跡の産業遺産であり、近代産業遺産としての価値も高く、



図 3-18 志免炭鉱遺構

左：豎坑櫓、右上：斜坑坑口、右下：木製プロペラによる送風機(2024.11 撮影)

⁵⁵ JR 西日本：せとうちパレットプロジェクト News Release (参照 2024.12)
https://www.westjr.co.jp/press/article/items/200820_00_setowa.pdf



図 3-19 観光資源として活用が期待される産業遺産の例

右：松尾鉦山跡⁵⁶

左：旧信越本線碓氷トンネル跡⁵⁷

建物の規模も大きく周辺の遺構と合わせた保存状況も良好であり、近代日本の産業を学ぶ場としても訴求力が高い施設であると考えられる。この遺構へは福岡駅からバスで 30 分以内とアクセスも問題ないが、現状では観光資源としての活用は十分であるとは言い難い。

上の事例は都市域に近い場所でのものであるが、アクセスが課題となっており、観光資源としての活用が難しいものもある。例えば、図 3-19（右）は岩手県の松尾鉦山跡の建造物群であり、図 3-19（左）は旧信越本線の碓氷トンネル跡である。こうした施設は一部のマニアでは人気が高いが、一般の観光客が訪れるための交通手段が未整備であり、現地での安全の確保も課題である。

しかし、近年では、長崎県の通称「軍艦島」（端島）⁵⁸を訪れるツアーが人気であり、高熱隧道として知られている黒部峡谷の宇奈月温泉側からのルート⁵⁹の一般開放⁵⁹も高い関心を集めている。こうした事例が示すように、ごく一般的な観光地とは異なる特別感を有する施設は観光資源としての魅力を内包しているものと考えられ、必要な交通および環境整備を行えば、地域再生のきっかけとなりえるものと考えられる。

こうした観光資源としては、廃坑、廃トンネルなどの産業遺構や地下神殿として知られる「首都圏外郭放水路」⁶⁰のような現役の施設も含まれ、地下遺構は観光資源との相性はよいものと考えられる。こうした遺構や施設と近接する既存の観光資源と連携することで、周遊観光のネットワークを形成することが可能と考えられる。

⁵⁶ 岩手県文化スポーツ部文化振興課 文化芸術担当：岩手の文化情報大辞典（参照 2024.12）
<http://www.bunka.pref.iwate.jp/archive/cs27>

⁵⁷ 群馬県観光公式サイト：観光ぐんま（参照 2024.12）<https://gunma-kanko.jp/features/12>

⁵⁸ 長崎市公式観光サイト：端島(軍艦島)(参照 2024.12)<https://www.at-nagasaki.jp/spot/51797>

⁵⁹ 富山県観光公式サイト：電源開発の歴史をたどる 黒部宇奈月キャニオンルート（参照 2024.12）
<https://www.info-toyama.com/stories/kurobeunazuki-canyonroute>

⁶⁰ 防災地下神殿 首都圏外郭放水路 HP：（2024.12 参照）、<https://gaikaku.jp/>

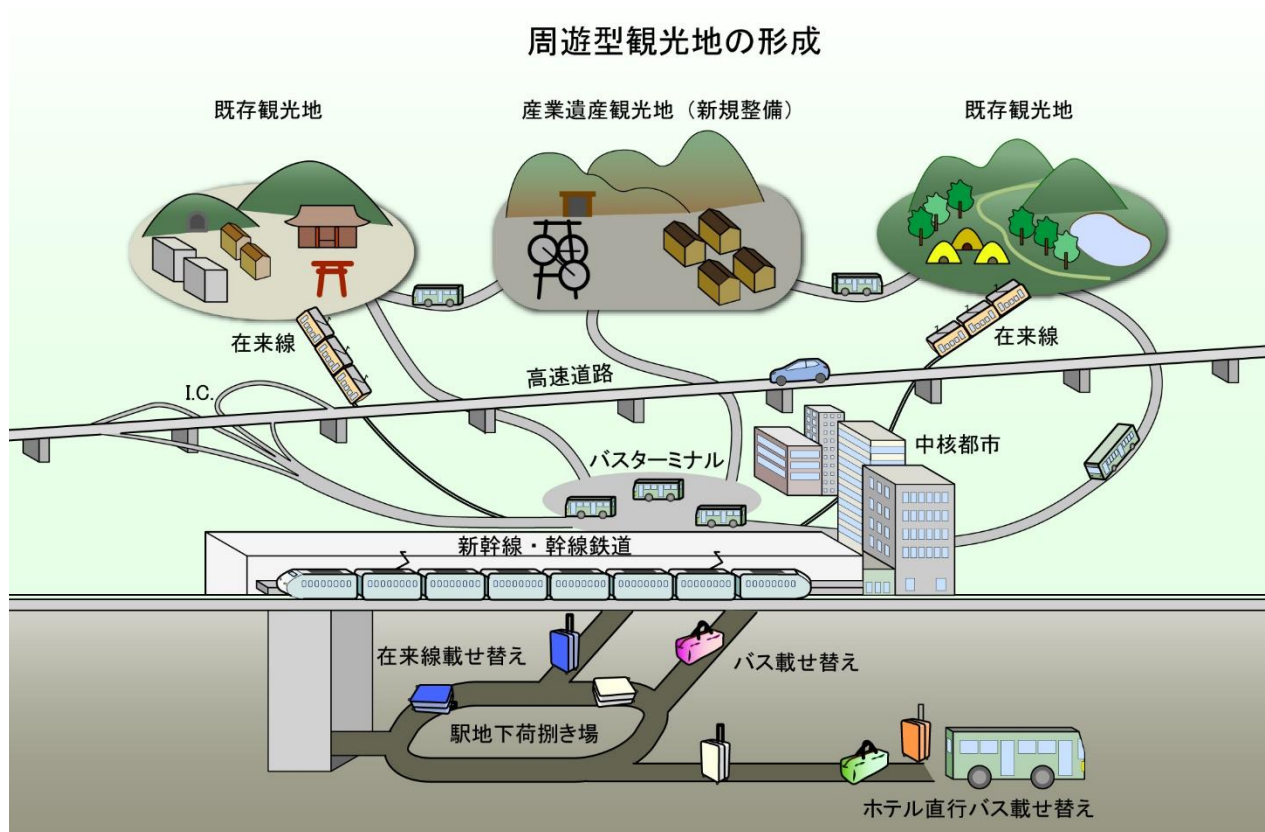


図 3-20 周遊型観光での MaaS の活用と未利用観光資源の活用

図 3-20 はこうした周遊型観光に新たに産業遺構を組み込むことで、周遊観光を実現するイメージを示したものである。すなわち、ここを訪れる観光客は、新幹線等の幹線交通拠点から、既存の寺社仏閣等を中心とした観光地や自然の景勝を楽しむ観光地に加えて、地下遺構などを通じて学びを体験する観光を楽しみ、宿泊先に向かうこととなる。なお、この図では後述するハンズフリー観光のための、ミニ仕分けシステムを拠点駅地下などに設置することについても合わせて示している。

3.3.3 オーバーツーリズム対策としての周辺観光地・周遊型観光への誘導を目的とした地下空間活用と MaaS

観光立国の方針のもと、海外からの観光客は確実に増えているが、その一方で、オーバーツーリズムによるさまざまな課題が指摘されている。具体的には、一部有名観光地への観光客の集中による過度の混雑とそれによる地域住民の生活環境への影響、文化や風習の違いによるマナー違反などが特に大きな課題であるが、こうした課題が旅行者の満足度の低下にもつながり、日本の観光地全体に対する評価の低下を招きかねない状況にある⁶¹。

以下では、こうした課題に対する解決策として、主に新技術の活用や展開に関するもの

⁶¹ 観光庁 HP：オーバーツーリズムの未然防止・抑制に向けた取組(参照 2024.12)

https://www.mlit.go.jp/kankocho/seisaku_seido/kihonkeikaku/jizoku_kankochi/jizokukano_taisei/overtourism.html

について、概要を示したい⁶²。

(1) 周遊型観光への利便性の向上

京都や奈良、鎌倉などの有名観光地には、内外からの観光客が集中し、道路の渋滞、路線バスの混雑、車道への観光客の流出などが頻発・慢性化することで、観光客が目指す観光地に入れない、地域住民の通勤・通学や日常生活にも支障が生じる事態が発生している。こうした課題に対しては、バスから鉄道への誘導、大型荷物の別送によるハンズフリー観光の推進、受入れ観光地における歩行空間の整備などが対策としてあげられる。このうち、バスから鉄道への誘導では、既設の鉄道サービスを見直し、新たに LRT や接続バス等の輸送力の高い輸送手段を整備することや、駅の構造を見直し、乗り換えなどがより円滑に行えるようにする必要がある。合わせて乗合タクシーの普及や小型の新モビリティによる自動運転などは、混雑緩和と運転手不足を補う有効な対策となりえるものと考えられる。

(2) 観光地内部の混雑緩和策

受入れ側観光地の整備としては、歩行空間および駅やバスターミナルなどの改良や動線の整備により、観光客の滞留を防止し、観光地内の混雑緩和を図ることが考えられる。具体策としては、サイネージの多言語化や視認性の向上などのソフトウェア対策と合わせて、電柱の地中化、看板や自動販売機の撤去および段差の解消などのバリアフリー対策などにより、円滑な動線を確保する。

また、海外からの観光客を中心にキャリーケース等の大型の荷物の扱いや積み込みにより、混雑の度合いが増すことに対しては、前述したように、拠点となるターミナル駅やバスターミナル内に、こうした荷物の分別システムを導入し、観光地内ではハンズフリーで移動できるようにすることが考えられる。この場合、利用者は MaaS による航空機、鉄道、バスなどの移動と宿泊先の予約段階で、識別用のコードやタグを自分の荷物に取り付けることにより、大型荷物は荷物運搬用の専用車両等で予め宿泊地などの目的地まで搬送される。なお、こうした分別システムを設置する空間としては、特に都心部などでは地下空間の利用が有効であると考えられ、列車やバスから降ろされた荷物は自動搬送システムで仕分け場に送り、そこから、宿泊地まで鉄道やトラックなど迂回道路や混雑する時間帯以外に輸送されることとなり、混雑緩和と輸送による環境負荷の低減にも貢献できるものと考えられる。

(3) 観光地内への移動での混雑緩和策

京都市内での公共交通であるバス路線や、鎌倉観光の足となっている江ノ島電鉄等では、観光客の集中により、地域住民の移動や生活に大きな課題が生じている。また、上

⁶² 観光庁 HP：オーバーツーリズムの未然防止・抑制に向けた対策パッケージ（参照 2024.12）
<https://www.mlit.go.jp/kankocho/content/810002893.pdf>

高地や箱根等では目的地の駐車場に入るための自動車により道路の通行が阻害されるなどの問題が生じている。こうした観光地では、歴史的な景観や自然環境の保全・保護のため、道路の拡張や迂回路の新設が難しい場合がある。

このような課題に対しては、エコツーリズム推進法⁶³に基づく、入山・入場制限や富士山などで施行されている入山料の徴収などの各種施策が有効であると考えられる。その一方で、条件によっては、拠点駅や駐車場を地下化することで空間の有効活用が考えられる。

(4) バリアフリー対策による観光地の質の向上と混雑緩和対策

MaaSにより移動手段や宿泊先を予約する場合に、さまざまな障害に対する支援が必要な利用者はその情報も登録しておくことで、駅等の内部の移動ではエレベーターに近い位置の車両に優先的に座席を割りてることや、訪問先での車いすや視聴覚補助器具や介助員スタッフの準備などの必要なサービスを事前に手配しておくことが可能である。こうしたバリアフリー対策は、高齢者、乳幼児連れの観光客にも必要性が高く、駅や観光拠点における問い合わせや手続き等を不要とし、さまざまなトラブルの防止にも大きく役立つものと考えられる。さらに、このような仕組みは、観光地の混雑緩和のみならず、観光地全体のサービスの向上に直結するものと考えられる。

(5) 時間的な分散化による混雑緩和

以上述べてきた施策は、主として空間的な混雑緩和策に関するものであるが、時間的な混雑緩和策についても検討されている。これは、観光に関する需要の分散化・平準化を図るものである。実際には、桜、紅葉など季節的に特定の時期に、観光客が集中せざるを得ないものもあるが、こうした時期においても、早朝・夜間の時間帯を活用し、観光客の平準化を考えることができる。特に、リピーターとして訪日する海外からの観光客には、トップシーズン以外の景観の魅力を発信し、有名観光地以外に対する周遊型観光への誘導も考えられる。

都市内の観光地として人気のある博物館・美術館・動物園などの施設においては、夜間ツアーなども一部実施されているが、事前予約制のツアーなどにより特別感を演出した企画をさまざまな施設や場所で実施することも考えられる。なお、こうした企画においては、周辺の住民や自然環境への影響が許容レベル以下に抑えられることが条件となることは言うまでもない。

(6) マナー・ルールの順守に対する施策

オーバーツーリズムの問題として、マスコミ等でも大きく取り上げられているのは、一部の海外観光客らによるマナーやルールの違反に関するものと考えられる。その多く

⁶³ 環境省 HP：エコツーリズム推進法（参照 2024.12）
<https://www.env.go.jp/nature/ecotourism/try-ecotourism/law/index.html>

は、SNS に掲載するための画像や動画の撮影に関するものが多く、道路や鉄道および私有地への無許可の侵入やそれに伴うごみの散乱や器物の破損などの事例も少なくない。こうした対策として、目隠しや侵入防止柵の設置なども行われているが、いわゆる「いちごっこ」状態にあるように感じられる。

こうしたトラブルの背景には、日本の法令や生活慣習および文化に対する理解不足が広く指摘されており、現状では多言語表示の注意喚起の看板・サイネージや音声による警告の発信など地道な対策が行われているのが実態であると考えられる。このため、各地における問題の共有と解決策の模索状況を共有し、そうした実情を訪日観光客にもわかりやすく伝えることが必要であると考えられる。そうした対策には、外国人向けの日本の紹介情報を伝えているさまざまなサイトや SNS を通じて、PR 動画などを用いた「正しい情報の発信」や、訪日客が利用する MaaS での注意喚起などが、観光事業者への啓発活動と合わせて必要であると考えられる。

4. 物流の特性を踏まえた地下インフラモデル

－物流 MaaS により制御された超効率物流システム－

4.1 2050 年に求められる物流とは

物流 MaaS は、物流分野における新しいモビリティサービスの全体像であり、物流業界のさまざまな課題を解決するために、IT 技術やデータを活用し物流プロセスを最適化する取り組みとすることができる。具体的な導入メリットとして、デジタル技術を活用した荷物の位置や配送状況をリアルタイムで把握し、効率的な配送ルートを計画するなどの業務効率化、共同配送や混載輸送を促進することによる輸送コストの大幅削減、輸送効率の向上による CO₂ 排出量の大幅削減などが考えられる。

物流 MaaS の導入には、企業間のデータ連携やデジタル基盤などソフト面の整備や物流を支える道路、鉄道、港湾、空港などの交通インフラ、トラック、鉄道車両、船舶、航空機などの輸送手段、さらに物資の保管や仕分けを行う倉庫や物流センター施設、物流管理システムやトラッキングシステムなどの IT インフラ、フォークリフト、パレット、コンベヤーなど物資の移動を支援する物流機器、加えて自治体や国の支援も重要な要素となる。また、交通データを分析し、需要予測や最適なルートを提案するための AI や予測分析技術の高度化、大量の交通データを収集・解析し、リアルタイムでの交通状況や利用者の行動パターンを把握するビッグデータの活用、データの保存や処理を行うクラウドコンピューティング、車両やインフラにセンサを設置し、リアルタイムでデータを収集・共有する IoT 技術、データの透明性とセキュリティを確保するためのブロックチェーン技術などが必要となる。図 4-1 に物流 MaaS のイメージを示す。

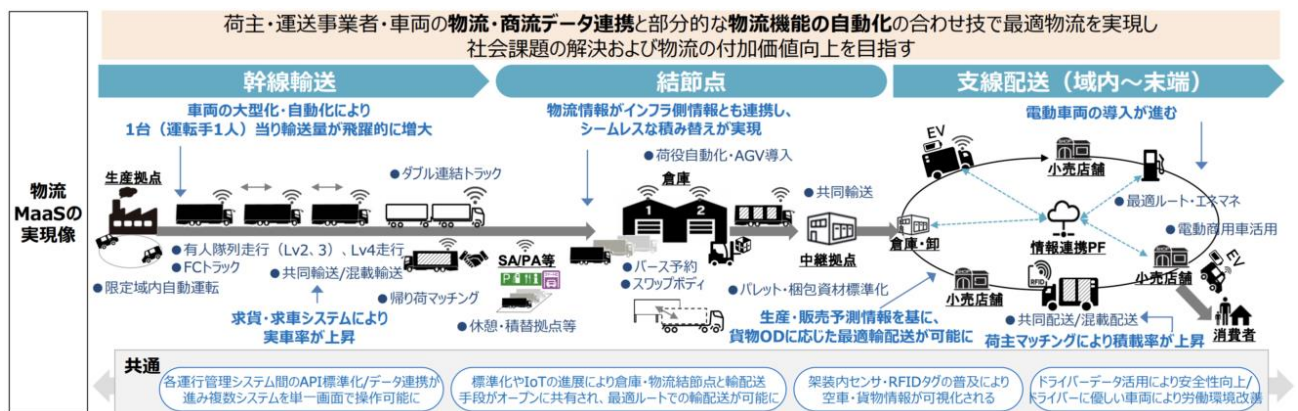


図 4-1 物流 MaaS のイメージ⁶⁴

⁶⁴ 経済産業省（参照 2024.12）

<https://www.logi-today.com/374738>

(1) 物流の変化と現状

国内の物流は地域と地域を結ぶ幹線輸送で大口の運搬を行い、集配所などの各結節点を経由し支線配送へとつながるが、配送の一役を担う重要なものに宅配がある。

この宅配サービスは、日本においてヤマト運輸が最初に事業化したサービスである。すなわち、今から約 100 年前、全国のトラック台数が 204 台だった 1919 年、ヤマト運輸はトラック 4 台を保有するトラック運送会社としてスタートし、その後日本初の路線運送事業を開始した。その数年後には関東一円に輸送ネットワークを作り上げるほどに成長、路線運送事業が物流の主流となった。こうした過程を経て、大口の荷物から各家庭の小口荷物を取り扱ういわゆる「宅急便」が 1976 年 1 月 20 日に誕生し、今日の物流システムへ変化していった⁶⁵。

こうした物流の変化については、技術面では「物流を維持する技術革新」や、大量輸送に関しては「海外や遠隔地との大量輸送物流」および各家庭などへの戸別配送に関するものとしては「ファースト・ラストワンマイルに対応する少量・多種・個別物流」などの調査研究⁶⁶がある。

現在、物流は主に「ロジスティクス（自社内での最適化）」（図 4-2）が中心となり、6 つのフェーズ工程により効率化が図られている。すなわち、①配送・輸送、②保管、③荷役、④梱包・包装、⑤仕分け・ピッキング（流通加工）、⑥入出庫管理（輸送情報）の 6 フェーズである。これらの効率化のためには、生産データ、入出庫データ、トラックの動態データ、在庫データ、購買データのような各種データと連携し一元管理することで、物流プロセスの最適化が必要となる。



図 4-2 ロジスティクスにおける 6 つのフェーズ⁶⁷

ロジスティクスの先にある戦略として、「SCM(サプライチェーンマネジメント)」と呼

⁶⁵ ヤマト運輸「宅急便の歩み」（参照 2024.12）

<https://www.kuronekoyamato.co.jp/ytc/corporate/ad/40th/>

⁶⁶ エンジニアリング協会、多目的地下インフラモデルの調査研究【本編第Ⅲ部】（参照 2024.12）

<https://www.ena.or.jp/?fname=gec2023-p1-3.pdf>

⁶⁷ JITBOX HP（参照 2024.12）

https://www.jitbox.co.jp/box_charter/

ばれる考え方がある（図 4-3）。SCM の目的は、企業だけでなくサプライチェーン（原材料の調達から生産管理、物流から販売までの一連の流れ）全体で物の流れを最適化することである。ロジスティクスは一企業だけで行われるのに対し、SCM は自社だけでなく商品に携わる企業を総合的に管理するより大きな枠組みの概念と言える。ひとつの商品を供給するのに多くの事業者が集まっている場合、ロジスティクスの導入だけでは顧客満足度を上げられない可能性もあるため、事業所や企業間でのデータ共有や、情報共有ツールを活用することが SCM の要点となる。⁶⁸。



図 4-3 サプライチェーンマネジメント⁶⁹

(2) これから求められる物流

SCM は冒頭に記載の物流MaaSを取り入れることでさらに自動化や効率化が進んでいくものと考えられる。今後は自動運転技術やドローンなど革新的な技術がさらに普及し、配送スピードや精度が向上することが期待されている。また 2050 カーボンニュートラルに向けた環境への配慮が重要視されるため、省エネや CO2 排出削減などの取り組みをさらに進めていく必要がある。さらに、人手不足の解消、高齢化社会への対応も重要な課題となる。以下、それぞれの施策について具体的な事例を挙げる。

1) 物流の配送スピードや精度向上

a) 配送ルートの最適化

地理情報システム（GIS）を活用し、リアルタイム交通情報を取り入れ、渋滞や事

⁶⁸ ZENRIN DataCom（参照 2024.12）<https://www.zenrin-datacom.net/solution/blog/logistics-commentary>

⁶⁹ ビジネス + IT（参照 2024.12）<https://www.sbbi.jp/article/cont1/34345>

故を避けるルートを選択、最適な配送ルートを計画する。これにより、運送時間と燃料コストを削減する。

b) 自動化技術の導入

自動倉庫システム（AS/RS）やロボットを導入し、倉庫内の作業を効率化する。これにより、ピッキングや梱包のスピードが向上する。またドローン配送や自動運転トラック、自動配送ロボットなどの活用も配送スピードの向上に寄与する。

c) IT システムの活用

輸送管理システム（TMS：Transportation Management System）の一例を図 4-4 に示す。TMS により配送計画の最適化とリアルタイム追跡を行うことにより配送精度と効率が向上する。また在庫管理システムを使用して、在庫の正確な把握と迅速な出荷が可能となる。

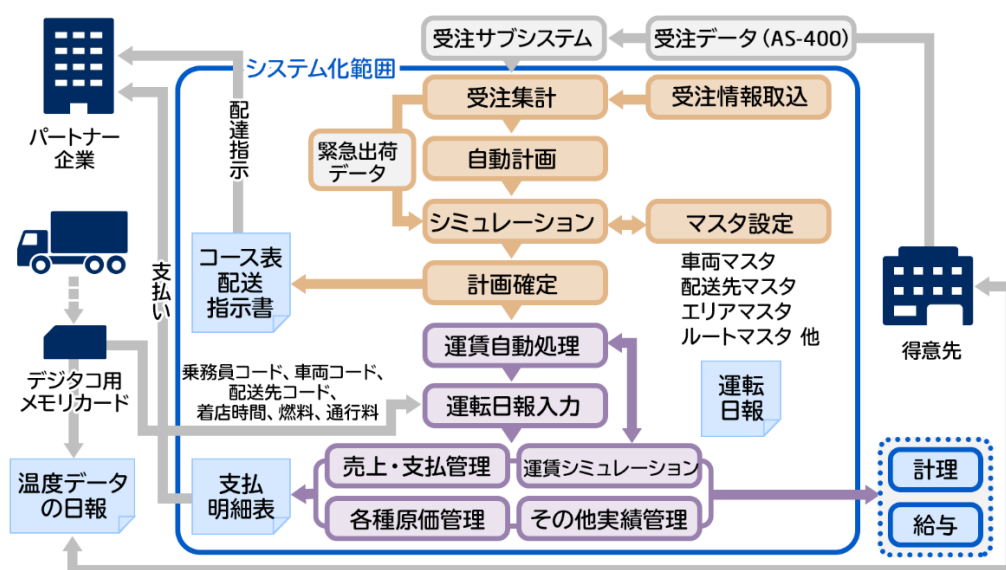


図 4-4 輸送管理システム（TMS）イメージ⁷⁰

d) データ分析と予測

ビッグデータと AI を活用して、物自体の需要予測を行い、在庫配置や補充、配送計画を最適化。データ分析により、過去の配送データを基に配送の障害となるボトルネックを特定し、改善策を講じることで、さらなる配送の効率化が可能となる。

2) 省エネ、CO₂ 削減への取組み

a) 再生可能エネルギー車の導入

電気自動車やハイブリッド車、水素燃料車両などを物流に導入することで、CO₂ 排出量を削減する。

⁷⁰ NEC ソリューションイノベータ（参照 2024.12）

<https://www.nec-solutioninnovators.co.jp/ss/logistics/products/tms/case/case9.html>

b) ルート最適化の検討

効率的な配送ルートへの設計や輸送計画の最適化を行うことで、車両の走行距離や時間を削減し、省エネ効果を高める。

c) 冷蔵、冷凍の効率化

冷蔵や冷凍のために必要なエネルギー消費を削減するために、物流の断熱性能の向上や冷却システムの効率化などを進めていく。また物流結節点における冷凍保管庫の整備も効果的となる。

3) 物流における人手不足の解消

a) 自動化とデジタル化の推進

RPA（ロボティック・プロセス・オートメーション）や AI を活用して、定型業務を自動化し、従業員の負担を軽減する。これについては、例えば、在庫管理や配送計画の自動化が挙げられる。IoT 技術を導入し、リアルタイムで在庫や配送状況を把握することで、効率的な運営が可能になる。

b) 共同配送やモーダルシフトの導入

共同配送を実施することで、配送効率を高め、コスト削減を図る。鉄道や船舶などへのモーダルシフトを導入、多様な運搬を組み合わせることで環境負荷軽減と効率化を実現する。

4) 高齢化社会対応

高齢化社会に向けた物流にはさまざまな対応が求められる。例えば、高齢者や障がいを持つ人々に配慮したラストワンマイル配送サービスの充実や自動配送ロボットの実運用（図 4-5）、荷物の受け渡しの容易さを考慮した設計やサービスの提供が重要となる。さらに、高齢者の安全や健康面を考慮した配送方法の開発や、高齢者向けの使いやすいインターフェースの導入なども重要な取り組みとなる。

a) IoT 技術の活用

スマホ、各種センサやデバイスを活用した IoT 技術により、高齢者でもわかりやすく扱いやすいインターフェースが必要となる。

b) ロボティクス技術

高齢者や障がいを持つ人々のために、自動化されたロボットや自立支援ロボットを活用した配送サービスを実現する。

c) AI（人工知能）技術

高齢者のニーズや状況に合わせた最適なルートや配送方法を提案するために AI 技術を活用し、物流サービスの質を向上する。



図 4-5 自動配送ロボットの実運用開始⁷¹

⁷¹ Panasonic Group 「自動配送ロボット」（参照 2024.12）<https://news.panasonic.com/jp/press/jn230801-1>

(3) 高規格道路と地下空間を活用した共同配送物流から物流の最適化へ

「高規格道路ネットワークのあり方中間とりまとめ」⁷²において、「道路空間を活用した専用空間が構築されデジタル技術を活用し、無人化・自動化された自動物流道路を構築することが必要」とある。ここからは自動物流道路（図 4-6）と地下空間を活用した共同配送物流と物流の最適化について記載し、今後の物流の方向性をまとめる。

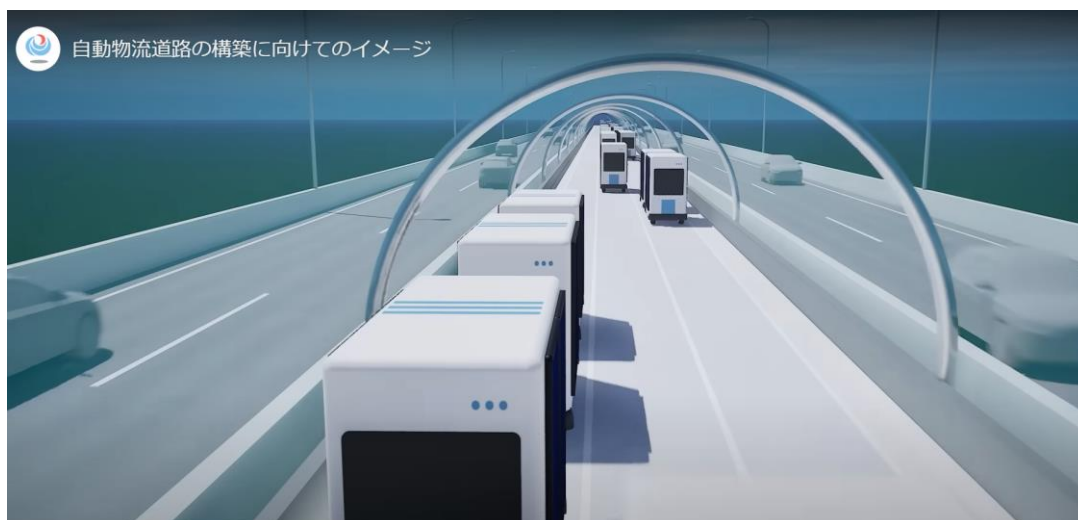


図 4-6 自動物流道路イメージ⁷³

1) 高規格道路と地下空間の活用

自動物流道路では荷物を物流拠点に集め目的地別に仕分けられ、24 時間稼働の自動物流道路を經由して目的地近くの物流拠点に運ばれる。自動仕分けのイメージを図 4-7 に示す。自動物流道路においても仕分けは自動で行われ、そこからさらに自動配達物流車や配送ロボットを使い、ラストワンマイルの配送が行われる。物流拠点として既存の高規格道路にある IC や SA・PA の地下空間の活用が考えられる。

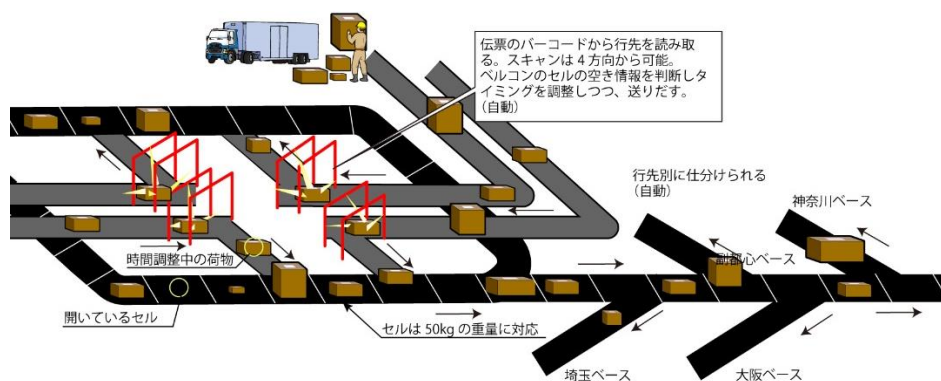


図 4-7 自動仕分けのイメージ

⁷² 国交省、自動物流道路に関する検討会（参照 2024.12）

<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001756698.pdf>

⁷³ 国交省、MLITChannel 自動物流道路の構築に向けてのイメージ（参照 2024.12）

<https://www.youtube.com/watch?v=W0v0zAxu5Wo&t=91s>

2) 共同配送について

物流の効率化を図るため複数の企業が連携し共同配送するための情報共有をいかに行うかが重要になる。各企業間での公平なコスト分担に向け配送距離や積載量に応じたコスト分担方法を整理する必要がある。さらに複数の企業が関わるため、配車管理やルート計画が複雑になることから、共通のシステムを導入し一元管理するシステム構築が求められる。また、急な配送の追加やキャンセルに伴う配送のルート変更など臨機応変な対応があるため、事前に予定変更時の対処法を決めておくことが重要となる。共同配送の実現に向け必要な施策を以下に挙げる。

a) 配送共通システムの導入

倉庫管理から在庫管理、配車・配送管理、運送管理、ピッキングなど物流工程のさまざまなシステムを一元管理する共通システムの導入が必要となる（図 4-8）。これにより企業間の情報共有が可能となり、効率的な集荷・配送が可能になる。



図 4-8 物流工程に関するシステム⁷⁴

b) 積荷の標準化

効率的な積載のためパレットやダンボールの規格を統一することが必要となる。パレット規格は既にいくつかの JIS 規格が定められ、このうち JISZ0601:2001 において「広範囲の業種及び各輸送機関において相互に共通使用され互換性のある木製およびプラスチック製プールパレット」として 1,100mm×1,100mm×1,44mm のパレットが定められている。一方、国内で最も多く生産されているのは 1,100mm×1,100mm のパレットであることから、今後はこのサイズが標準化されていくものと考えられる⁷⁵。一方ダンボールや荷姿の形状から最も効率的な積み方（パレタイズ）

⁷⁴ ITトレンド（参照 2024.12）

https://it-trend.jp/physical_distribution_management/article/explain

⁷⁵ 経産省パレット標準化推進分科会、令和 4 年 6 月（参照 2024.12）

<https://www.meti.go.jp/press/2022/06/20220627002/20220627002-a.pdf>

を瞬時に判断するデジタル化技術による混載品質基準の策定が必要となる。

c) 共同物流センターの設置

複数の企業が共同で利用できる物流センターなど効率的な集荷と配送を実現する物流拠点の整備が必要となる（図 4-9）。これについては前述のように既存の高規格道路の SA・PA の地下利用が考えられる。図 4-6 に示した高規格道路を活用した自動物流道路を幹線とし、その前後を地域の物流拠点としての機能を担う。



図 4-9 新名神道路で計画中の高速道路直結物流拠点⁷⁶

3) 物流全体の最適化

物流全体の最適化のためには以下のようなことが必要となる。

在庫を適切に管理し、過剰在庫や在庫切れを防ぐ

地理情報システム（GIS）を活用し最適な配送ルートを計画し運送時間を短縮する
倉庫内の作業を自動化し効率的な在庫管理と出荷プロセスを効率化すること

商品の特性や配送距離に応じ最適な輸送手段（トラック、船、飛行機など）を選択する

物流そのもののデータを収集・分析し、問題点を把握し改善策を講じていく

具体的な事例として、Amazon や UPS などの企業が物流最適化に成功しており、配送ルートの最適化や自動化された倉庫管理システムを導入している。また、ユニクロや JR 東日本などでは、RFID（無線周波数識別）タグを商品や物品に取り付けることで、在庫の正確な把握と管理を実現している。これにより、在庫確認や棚卸しの作業

⁷⁶ 伊藤忠商事 HP「次世代基幹物流施設」（参照 2024.12）：
<https://www.itochu.co.jp/ja/news/press/2022/220203.html>

時間が大幅に短縮され、ヒューマンエラーの削減にもつながっている。

RFID 以外にも、在庫管理の基本的な技術としてバーコードや QR コード、IoT 技術、自動倉庫システム（AS/RS）、倉庫内を飛び回るドローンを使った在庫管理、NFC（近距離無線通信）などの技術活用が進んでいる。これらの技術を組み合わせることで、在庫管理の効率化と精度向上が期待され、物流の最適化が実現していくものと考えられる。どの技術が最適かは、荷物の規模、種類、集荷・配送先等によって異なるため、具体的なニーズに合わせて選択していくことが重要となる。

以上の検討結果を踏まえ、2050 年に求められる物流のイメージを図 4-10 に示す。

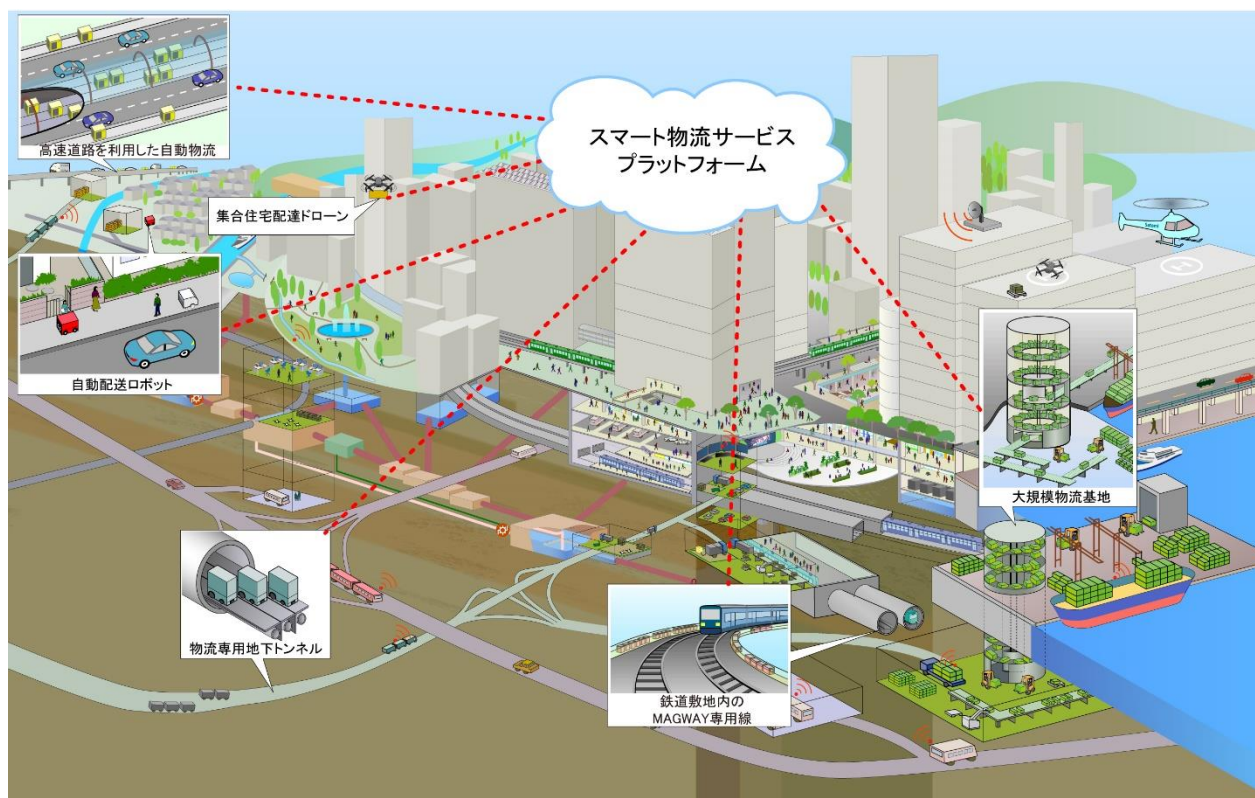


図 4-10 2050 年に求められる物流のイメージ

4.2 都市間物流

物流 MaaS については、4.1 において詳しく述べた。ここでは、その物流 MaaS によって大きく効率化が図られ、同時に CO₂ 削減などを可能とする物流システムの中でも、都市間の物流について述べることにする。なお、物流 MaaS については、図 4-1 を参照されたい。

4.2.1 大型物流基地

(1) 対象とする大型物流基地とは

本調査で対象とする大型物流基地とは、首都圏と地域（海外を含む）との地理的・物流環境的境界付近に設ける結節点拠点ターミナルとしての大規模施設と、首都圏域内における地理的・物流環境的に狭い地域に設ける域内拠点ターミナルとしての中小規模施設を取り扱うこととする⁷⁷。自動物流道路に関する検討会が、将来的な自動物流道路のあり方として中間とりまとめで報告している。

- 図 4-11 に示すイメージに照らせば、図中赤枠で囲っている連携先とされるトラック、鉄道、空港、港湾、都市内再開発に関する主要施設が対象となる。

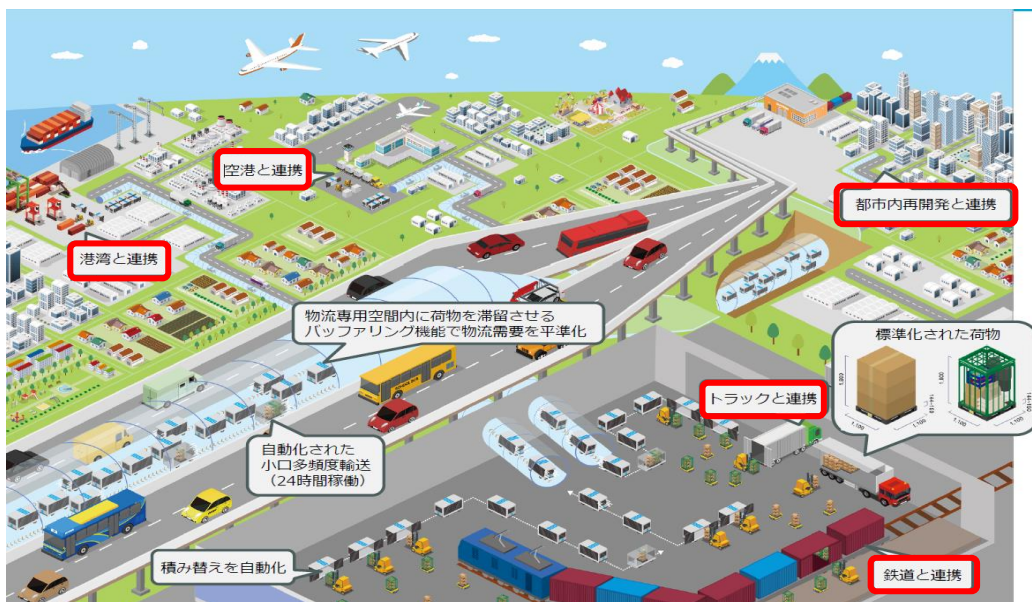


図 4-11 自動物流イメージ⁷⁸

(2) 大型物流基地に求められる役割

大型物流基地は、これらの連携先や連携先間において図 4-12 に示すような各モード

⁷⁷ 一般財団法人エンジニアリング協会，地下開発利用研究センター：ポストコロナの環境変化を考慮した地下インフラ再構築の調査研究 CASE、MaaS 等に対応した地下のインフラシステムに関する調査研究（第3部会），2023年3月。

⁷⁸ 自動物流道路に関する検討会：自動物流道路のあり方 中間とりまとめ（概要），令和6年7月25日

間がシームレスに連結することで物流の最適化を進め、前出の物流(ロジスティックス)に関する大きな課題(人手不足、ニーズの多様化、物流コストの上昇、環境負荷の増加)の解決の一助となる必要がある。

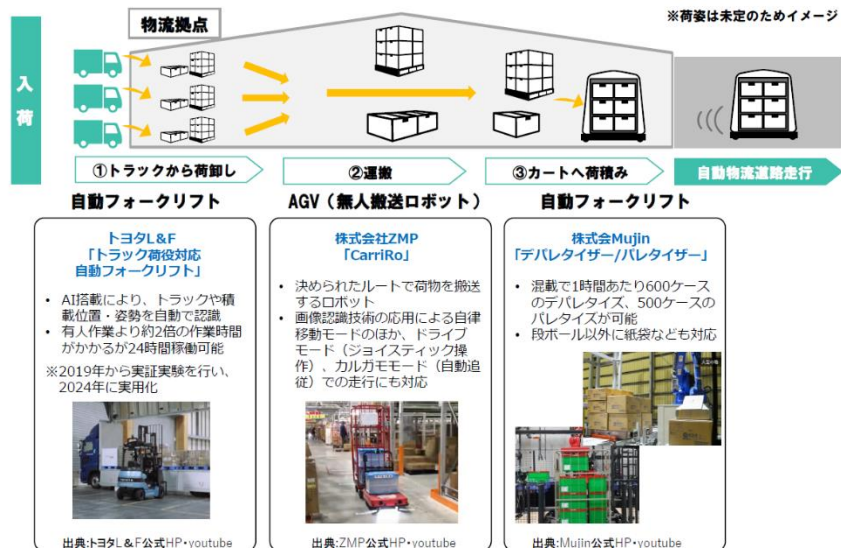


図 4-12 物流モードのシームレスな連結⁷⁸

また、物流基地では、荷物の受取り、積み下ろし、仕分け、保管、積み込み、出荷の各作業とその間の運搬・移動を行うことになる。図 4-13⁷⁹はトラックモードでの物流基地における一連の流れを示しているが、鉄道、港湾、空港における単独基地の場合、同図の入荷・出荷側に記載されているトラックが鉄道貨車、船舶、飛行機となる。物流モード間のシームレスな連携が行われる場合、入荷側、出荷側のモードがトラック、鉄道貨車、船舶、飛行機の多様な組み合わせとなることが考えられる。ただ、一般的な大都市圏における物流基地を考えたときには、どちらかは必ずと言っていいほどトラックモードでの連結になると考えられる。

なお、自然環境・社会構造の変化に伴う社会課題を踏まえた物流問題に対しては、受け入れ、受け渡し、仕分け、保管などの効率化に向け MaaS、DX などによる物流マッチングサービスや荷物の動態管理システム、IC タグとブロックチェーン技術による輸送プロセスの簡易化が進み¹⁾、そのための荷姿の標準化(共通パレットの使用、図 4-14、図 4-14、図 4-15、図 4-17)、モードに応じたサイズ感の調整、共同配送などの物流事業者間の協調も進むものと考えられる。

⁷⁹ 自動物流道路に関する検討会：自動物流道路のあり方 中間とりまとめ(参考資料)，令和 6 年 7 月 25 日



19



20

図 4-13 自動物流道路における荷役～入荷から出庫～⁷⁹



図 4-14 物流標準化の例（その1）⁷⁸

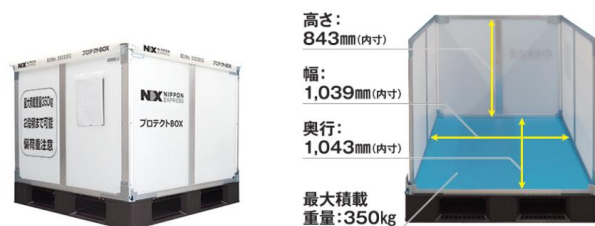


図 4-15 物流標準化の例（その 2）⁸⁰



図 4-16 脱着中のスワップボディコンテナ車両⁸¹

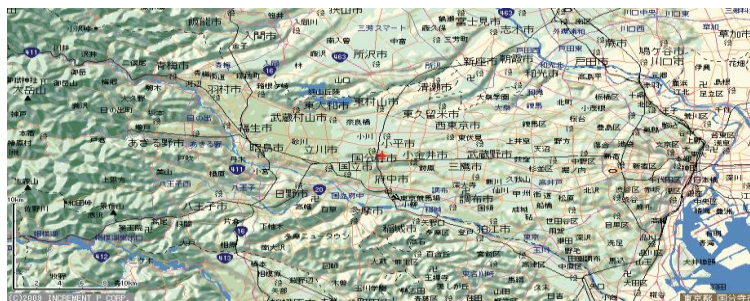
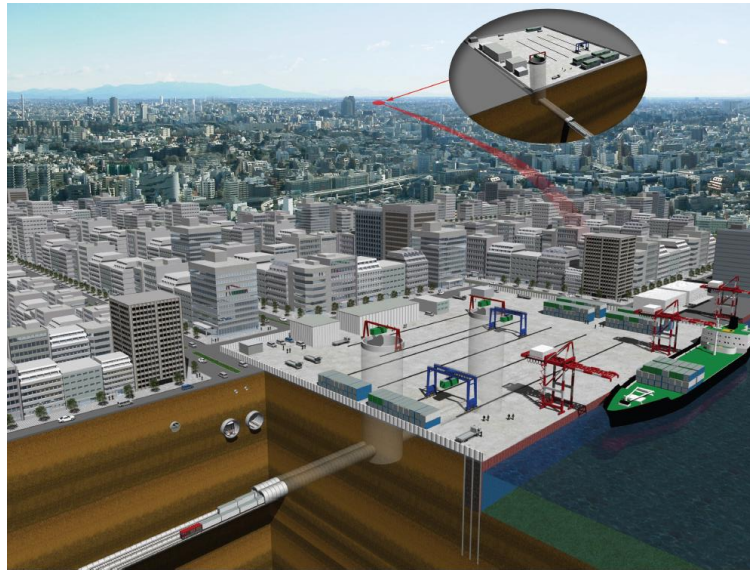
(3) 大型物流基地間の連携

大型物流基地間の連携には、後節(2)物流専用交通ネットワークに詳しく述べる新設物流トンネルやスイス CST、ロンドン MAGWAY システムなどの利用が考えられる。また、2009 年に（一財）エンジニアリング協会でまとめられた「大深度地下を活用した首都圏大深度地下物流トンネル構想に関する調査報告書」⁸⁶は、大井埠頭と青梅 IC、八王子西 IC を結ぶ専用トンネルを用いた物流システムにより港湾と圏央道のトラックターミナルといった大型物流基地の連携を構想しており興味深い。

⁸⁰ 日本通運：プロテクト BOX,（参照 2024.11）

https://www.nittsu.co.jp/logistics_solution/quality/protect-box/
<https://www.nittsu.co.jp/truck/services/mixed-cargo/protectbox/>

⁸¹ スワップボディコンテナ車両利活用促進に向けた検討会：スワップボディコンテナ車両利活用促進に向けたガイドライン，平成 31 年 3 月。



立坑（立川防災） 中間デポ（国立府中） 立坑（東名JCT）

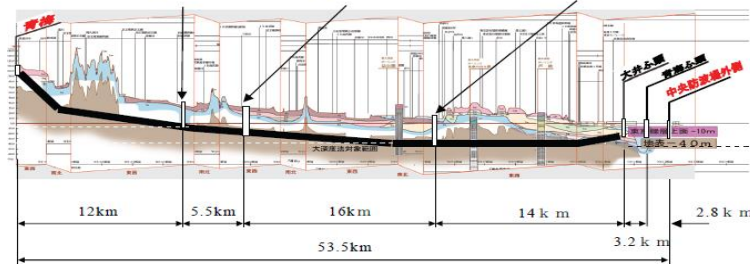


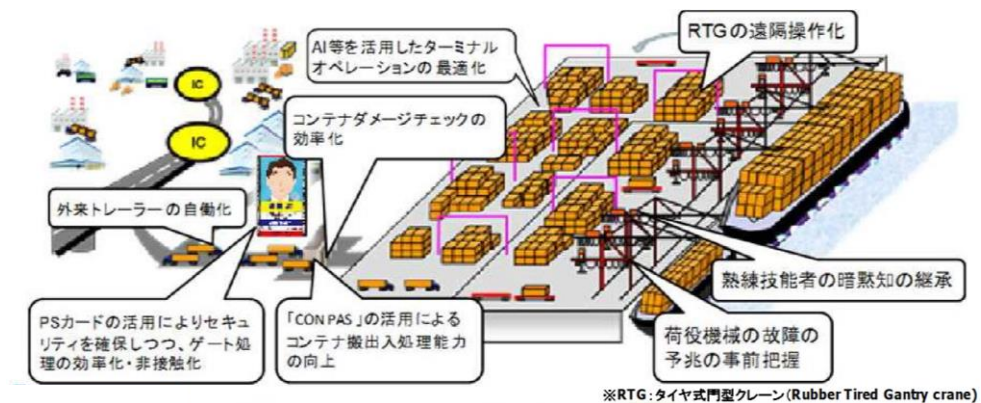
図 4-17 大規模物流基地間の連携構想の一例⁸²

なお、MAGWAY システムやドローンを用いる場合、既存地下施設の余剰空間や建築限界外側を利用する空間的フェーズフリーな利用が考えられる。さらに、外郭放水路のように豪雨などの時のみ利用される空間や、アクアラインの路面下にある緊急車両用走行路などに関しては、時間的フェーズフリーな考え方を取り込み積極的に活用することが望まれる。これらは、既存地下施設の管理者との協調・協議や法的整備が重要になってくる。

⁸² (財) エンジニアリング振興協会，地下開発利用研究センター：首都圏大深度地下物流トンネル構想に関する調査報告書、平成 22 年 3 月

(4) 大型物流基地における地上・地下の連携

大型物流基地には、自動運転トラック（貨物車）のみならず、自動運転鉄道貨物車両、自動運航船舶、自動運転貨物飛行機（大型ドローン）を利用し MaaS をフル活用した入・出荷が行われるようになり始めていると考えられる。また、荷姿の統一、モードに応じたサイズ感の調整、共同配送などの物流事業者間の協調などの進展により図 4-11 に示されるように貨物の積み替えの他、仕分け、保管の自動化も容易に行われる。このような機能の向上は、物流専用空間内に荷物を滞留させるバッファリング機能で物流需要を平準化させるとともに、自動化された小口多頻度輸送の 24 時間稼働の可能性を高めることになり、物流の効率化ひいては生産性の向上へとつなげることができるようになる。このように機能向上した物流基地への入・出荷には基地と移動空間をスムーズに連携させることが重要である。図 4-18 は港湾や鉄道ターミナルにおけるシームレスな連携に向け AI や MaaS を活用したモーダルコネクトの一例を示している。



(a) ヒトを支援する AI ターミナ



(b) スマート貨物ターミナル

図 4-18 物流モーダルコネクトのイメージ例⁸³

⁸³ 勘場庸資：最近の物流政策の動向について，鉄道利用運送推進全国大会，R5.2.9.

一方、現状は物流基地から地上の一般道路を利用することが行われているが、自動化された輸送機器の移動を考えた時、安心・安全かつ効率的移動の観点から人・物の流れは極力分離することが望まれ、そのためには前項に示したような既存・新設の地下空間を物流専用空間とすることが有効な手段となる。

しかしながら、既存の地下空間は浅部において地下鉄、共同溝、上下水道などの数多くのインフラが整備されていることにより満杯状態である。したがって、これらを避けて物流専用の移動空間を整備しようとする場合は大深度地下の利用のほか、既存施設に物流空間を併設させることが考えられる。大型物流基地からこのような物流専用移動空間に貨物を移動させるためには、浅部の既存インフラを避けて基地と移動空間との接続空間を極力小さくすることが必要となる。この場合、図 4-19 に示すように地上施設（この図では HUB と表示）と地下とを斜路で結ぶのではなく、立坑を利用するとともに、この立坑に貨物の積み替えの他、仕分け、保管機能を持たせることが可能であれば、非常に効率的であると考えられる。

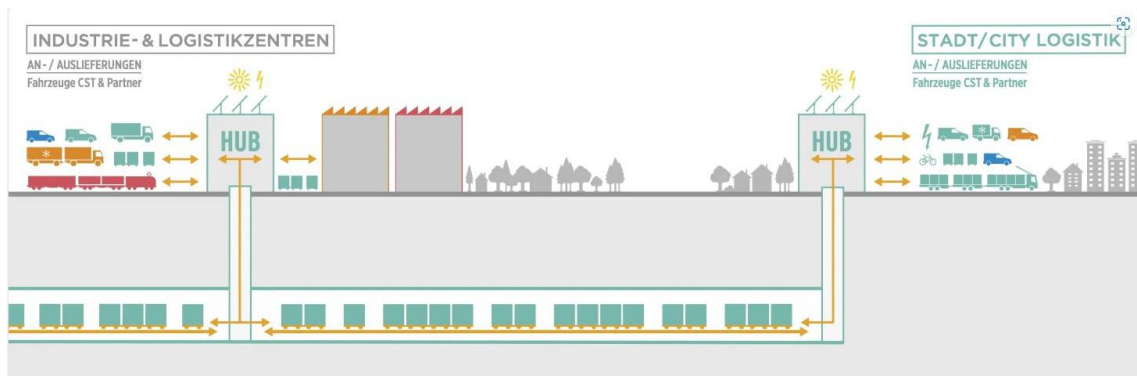


図 4-19 地下物流システムのイメージ⁷⁹

立坑に保管機能を持たせている施設として、各地で実際に運用されている図 4-20⁸⁴に示すような駐輪・駐車施設がある。これらは、自転車や、自動車などが対象であるが、標準化・自動化された荷姿であれば、現在でもコンテナ、パレットなどに積載された貨物の保管と地下への誘導は可能であり、物流基地における地上・地下連携の有望な技術であると考えられる。また、既存の多くのシールドトンネルが立坑を発進・到達基地としていることから理解できるように、この施設は地上の物流基地と地下の移動トンネルとを直接つなぐことも可能である。

⁸⁴ 技研製作所 HP（参照 2024.11）

https://www.giken.com/ja/products/eco_park/

https://www.giken.com/ja/products/eco_park/versatile_foundation/



図 4-20 地下立体駐車場⁸⁴

図 4-21 港湾ターミナル荷役クレーン⁸²および図 4-22 は、港湾ターミナルと鉄道貨物ターミナルにおける地上・地下連携の一案である。

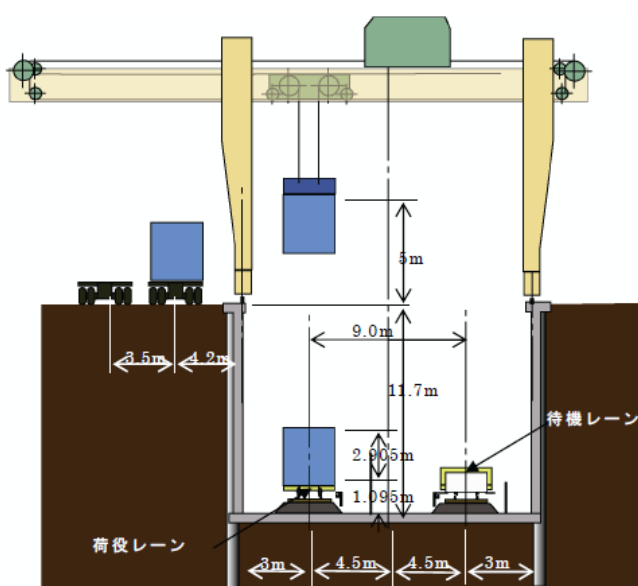


図 4-21 港湾ターミナル荷役クレーン⁸²

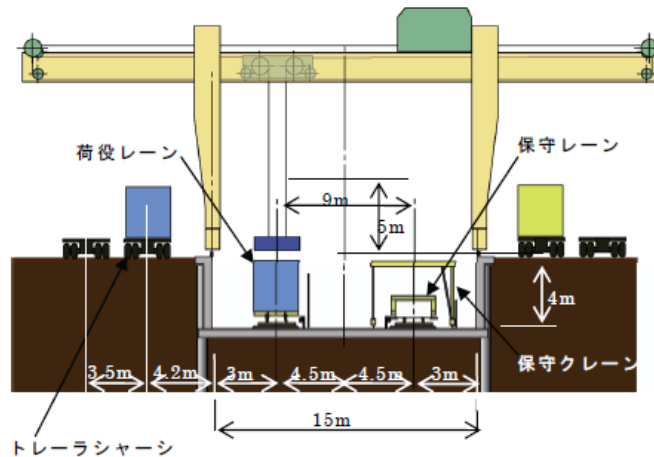


図 4-22 鉄道貨物ターミナルインランドデポへの適用⁸²

(5) 都市再開発地域における地上・地下の連携

都市の再開発に関しては既に多くの事業が推進されていることから、これを物流基地として捉えた時の地上・地下の連携にあたっては、既存再開発施設の有効活用を検討することが合理的である。

図 4-23⁸⁵は 2022 年に第 1 期エリアが開業した「東京ミッドタウン八重洲」についての紹介であり、この施設は 2028 年度までに第 3 期エリアが完成する予定となっている。それぞれの地下には、国際都市東京の玄関口である東京駅八重洲側が抱えるバス利用者の利便しづらさと周辺道路や歩道の交通の妨げといった課題を解決するために、現存する都市機能を生かしながら施設・機能を集約したバスターミナルが計画されている⁸⁶。ここでは、広大な土地を必要とする中、東京駅周辺でまとまった土地の確保は困難なことから再開発ビルの地下の利用が計画されたわけであるが、物流基地についても新しく都市再開発地域と連携させるには全く同じ課題が生じることとなる。

85 (独法) 都市再生機構、京王電鉄バス(株)：9 月 17 日(土)開業予定の(仮称)八重洲バスターミナルの名称を「バスターミナル東京八重洲」に決定、令和 4 年(2022 年)3 月 15 日

86 大島卓真：バスターミナル東京八重洲の概要と今後の計画(参照 2024.10)

<http://cus4.japan-pa.or.jp/wp/wp-content/uploads/2023/04/3cc2cb2def47318a10d365750f903600.pdf>

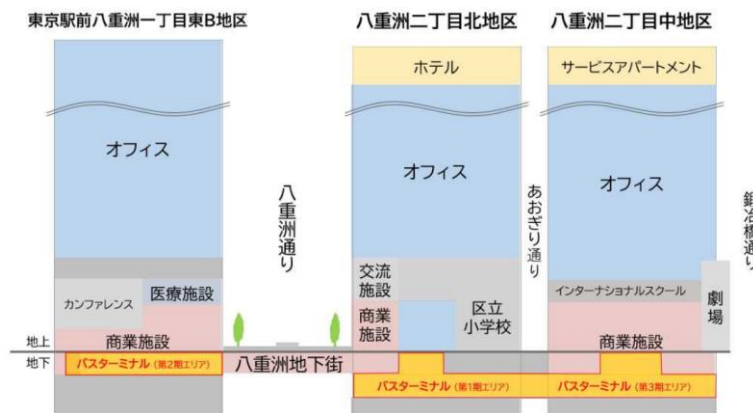


図 4-23 バスターミナル東京八重洲 ⁸⁵

首都高速道路八重洲線は図 4-24 に示すように、東京駅八重洲パーキングと地下で直結しているが、現在行われている再開発地域・ビルの周辺ではビル外周部・ビル下ともにインフラやビル本体の基礎などが存在するため、この事例にあるような新たな地下空間の開発は困難を極める。そこで再開発ビルの中に設けられる物品搬入エリアを店舗等の物品搬入以外の時間的猶予時間帯に、周辺の小規模エリアの物流ターミナルとして利用することが考えられる。

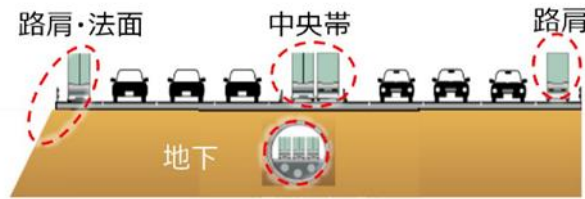


図 4-25 道路空間の利活用イメージ⁸⁸

② 物流モードのシームレスな連結

道路ネットワークの強みを生かし、トラック輸送・鉄道輸送・海上輸送・航空輸送などの輸送モードと連結することにより、物流ネットワーク全体を最適化する。

③ カーボンニュートラル

物流の全体最適化やシームレスな連結により、無駄な輸送を削減して物流全体の温室効果ガス排出量を削減する。他にも、低炭素技術の導入、クリーンエネルギーの活用を目指す。

自動物流道路の構想に際しては、人が荷物を運ぶという概念から人は荷物を管理し、荷物そのものが自動で輸送される仕組みへの転換が必要である。

(2) 自動物流道路（海外事例）

スイスは今後も人口の増加が予測され、貨物輸送量が 2040 年までに約 4 割増加することが予測されており、現在の交通ルートだけでは今後増加する貨物輸送に対応することができないため、主要都市間を結ぶ物流専用の地下トンネルを建設し、自動輸送カー트를走行させる物流システムの構築が検討されている（図 4-25）。

この計画の概要を以下に示す。

- ・ 地下 20m～100m に直径 6m の貨物専用トンネルを約 500 km 構築する
- ・ 自動運転専用カートによりトンネル内の 3 線のレーンを時速 30km で 24 時間体制で走行する
- ・ 将来的には自動カーートを 100% 再生エネルギーで運転する予定である
- ・ 地下トンネルへはハブ（物流ターミナル）を介して垂直輸送され、ハブにおいて他の交通システムと接続される
- ・ デジタルマッチング技術を活用し、効率的な貨物配送を実現する

⁸⁸ 国土交通省：自動物流道路のあり方 中間とりまとめ 参考資料（参照 2024.12）
https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/buturyu_douro/pdf/chu-sankou.pdf



図 4-26 スイス C S T⁸⁹

(3) 自動物流鉄道（海外事例）

イギリスでは、西ロンドン地区において、現在開発中の Magway システム（図 4-27 図 4-27）により、地区内物流の効率化を図るプロジェクトが計画されている。西ロンドン地区の既存の鉄道敷地内のレール横スペースを活用し Magway 専用線を設置し、物流施設間で荷物の輸送を行うことを計画している。本プロジェクトはイギリスの民間企業（MAGWAY 社）が計画を検討している。トラック輸送に替わる安全かつ持続可能な代替手段を提供することを目的としており、物流の脱炭素化・効率の向上・渋滞の緩和等への貢献を目的としている。



鉄道敷地内での設置イメージ

図 4-27 イギリス MAGAY⁹⁰

4.2.3 結節点拠点ターミナル（新設拠点、既存サービスエリア等の改築）

都市間物流により輸送された荷物は、都市内物流と接続する結節点において積替え・積

⁸⁹ 国土交通省：自動物流道路のあり方 中間とりまとめ 参考資料（参照 2024.12）
https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/buturyu_douro/pdf/chu-sankou.pdf

⁹⁰ 国土交通省：自動物流道路のあり方 中間とりまとめ 参考資料（参照 2024.12）
https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/buturyu_douro/pdf/chu-sankou.pdf

卸しを行う必要があり、この結節点を高機能化することによりシームレスで高速な接続を実現することが、物流全体の高機能化・効率化を進める上で必要となる。

(1) 鉄道貨物駅内および近傍の結節点

貨物駅内に高度な自動化技術を導入した大型物流施設を構築することにより、鉄道が本来有する結節点機能を強化し、よりスムーズで生産性の高い物流システムとすることが考えられる。

なお、高速道路や鉄道に沿って専用路を設置し、マグウェイの小型版のようなシステムを整備することで、大型物流基地間の物流に利用できる可能性がある。

(2) 高速道路内及び近傍の結節点

積荷の積替え・積卸しのための大型物流施設を SA や PA およびその地下に構築して一般道と接続することが考えられる。また、IC 近傍に高度な自動化技術を導入した大型物流施設を構築して自動物流道路の IC と専用ランプウェイで直結し、滑らかで高効率な物流システムとすることが考えられる。

4.2.4 スマート物流(量子コンピューティングによる物流最適化)

スマート物流とは、IT 技術を活用して効率化された物流のことである。

スマート物流に用いられる技術は、IoT や AI、ブロックチェーンなどがあり、これらの技術を活用したデジタルツインの実装により、効率化、高度化することができる。

物流 MaaS により制御された超効率物流システムを実現するためには、IoT、ビッグデータ、AI などの最新技術を、従来型のコンピュータよりも、はるかに短い時間での計算が可能な量子コンピューティングにより、物流業務の効率化が可能となり、スマート物流サービスのサプライチェーン全体の最適化を図ることができる。ここで、量子コンピュータとは、物理現象を用いて、膨大にあるパターンから最適解を超高速に見つける組合せ最適化である。さらに、トラック、鉄道車両、船舶、航空機などの輸送ルート of 各モード間がシームレスに連結し、状況の変化にリアルタイムに対応する運用を自動化することで、さらなる物流サービスの効率化を図ることができる。

(1) 我が国が掲げる物流課題

物流の課題には、図 4-28 のように各企業単体では解決不可能な問題がある。すなわち、人手不足(トラックドライバー需給不足)、ニーズの多様化(トラック積載効率の低下)、独特の商習慣(荷待ち拘束時間の運行差による労働時間の悪化)等の解決である。スマート物流では、こうした課題に対しての技術面での解決を目指している。

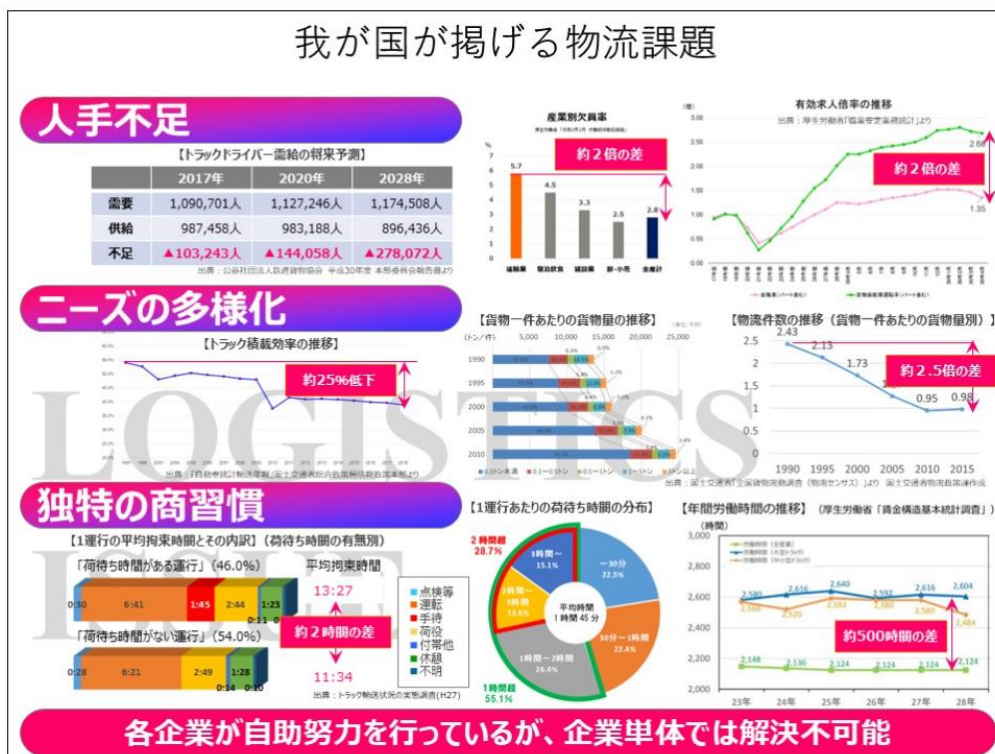


図 4-28 我が国が掲げる物流課題⁹¹

(2) スマート物流サービスが目指す世界

スマート物流サービスでは、図 4-29 のように「Society5.0」の概念であるサイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させ、サプライチェーン全体の最適化を図り、「持続可能な物流・商流」「廃棄ロス削減」「フィジカルインターネット」「省力化・省人化」「商品の安全・安心の提供」といった新たな価値の具現化を目指している。

物流・商流を取り巻く環境は大きく変化しており、深刻なドライバー不足等による物流サービスの低下のみならず、物流費の高騰による物価の高騰といった、物流・商流に関わる企業等を超え、国民生活にまで影響を及ぼす「物流クライシス」が社会課題として顕在化している。

さらに、新型コロナウイルス感染症や不安定な国際情勢の中で、今後、我が国の経済成長と国民生活を持続的に支える「社会インフラとしての物流」を維持するためには、激変するグローバルな動向を常に把握しながら、最新の情報科学技術等を活用し、さらなる効率化と高付加価値化を図る必要がある。

⁹¹ 内閣府 HP：戦略的イノベーションプログラム（SIP：エスアイピー）（参照 2024.12）
<https://j-pic.or.jp/sip-service/about-sip/>

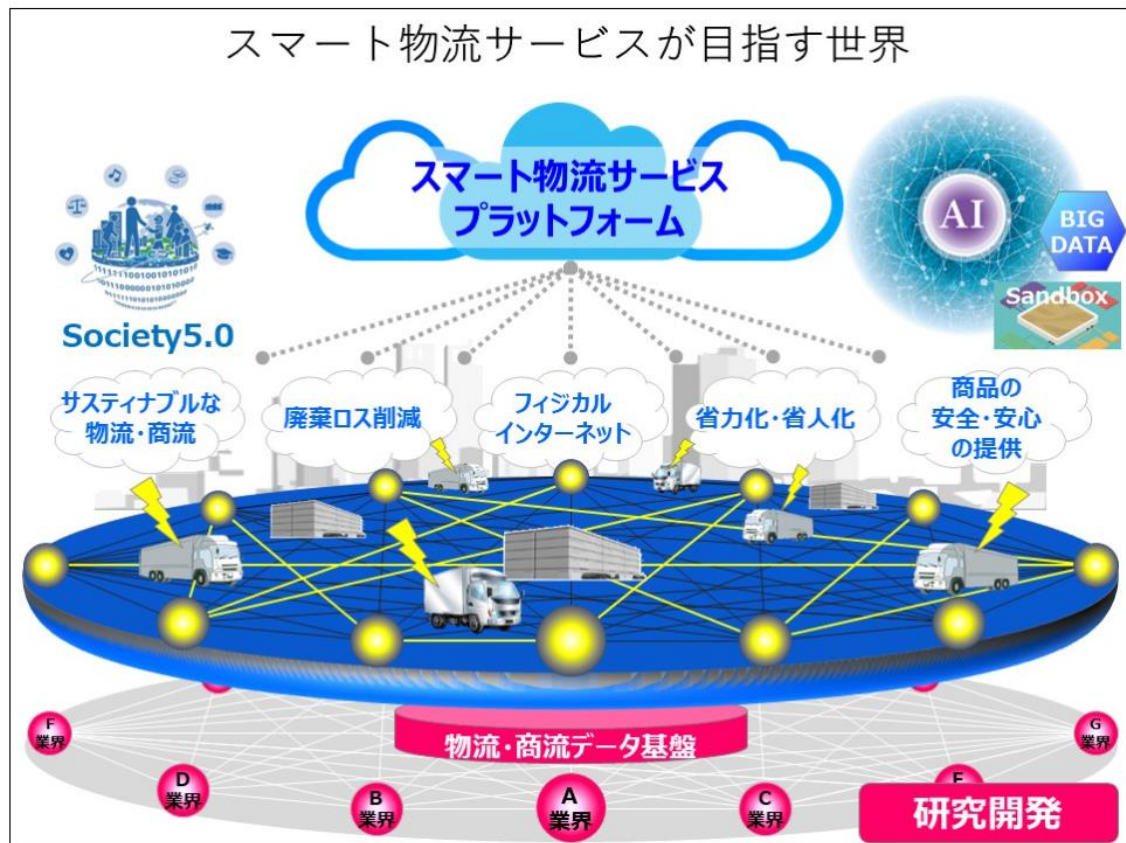


図 4-29 スマート物流サービスが目指す世界⁹²

(3) 物流業界での量子コンピューティング活用例

スマート物流サービスにおける量子コンピューティングの取り組み例を以下に列挙する。

① 作業の最適化

運行ダイヤや出荷順序、作業動線などを考慮して、最も効果的な作業計画、ピッキングスケジュールや作業工程を自動作成する。

② シフトの最適化

労働条件や勤務希望など従来のシフト作成条件に加え、働き方改革に向け、個人の生産性（力量）を加味したシフト計画を自動作成する。

③ ルートの最適化

物流ルートを最適化することで、効率化を図るものである。実例としては、建設発生土の運搬計画を最適化する事例では、納入先や種類、量、納品タイミングを考慮した車両の割り当てや、順序を考慮した積込みを、リアルタイムに最短のルート計画を自動作成する(図 4-30)ものがある。

⁹² 内閣府 HP：戦略的イノベーション創造プログラム（SIP：エスアイピー）（参照 2024.12）

<https://j-pic.or.jp/sip-service/about-sip/>

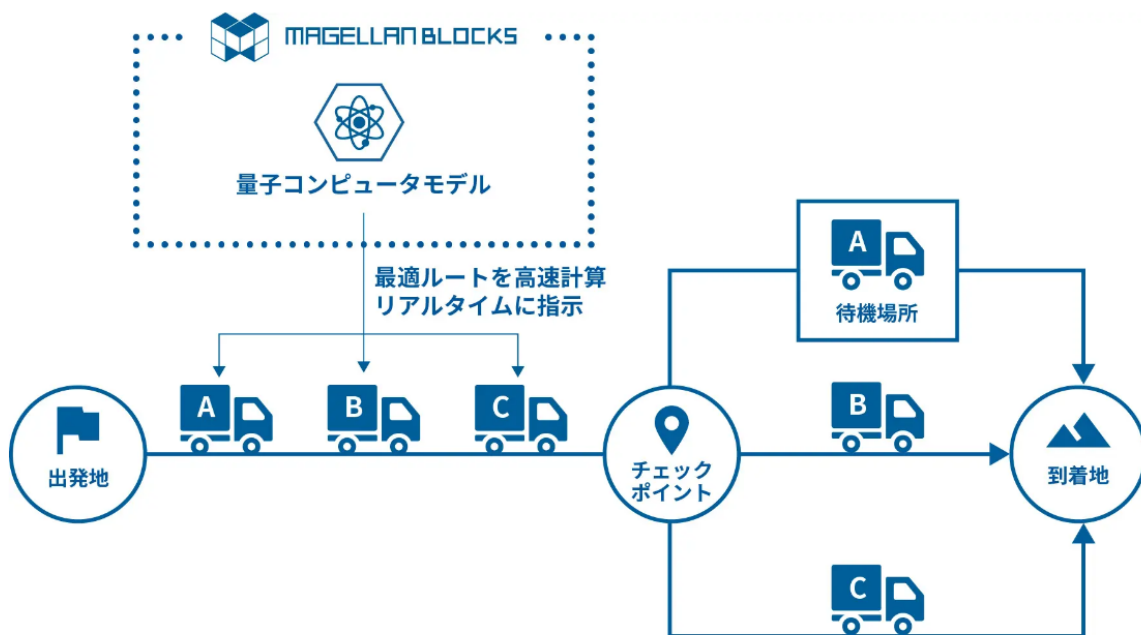


図 4-30 運搬計画最適化プロジェクトイメージ⁹³

④ 積載の最適化

後述する荷物の形状や重さ、内容物などを最適化することは、積載車量の効率的な運用において極めて重要である。補給部品物流の最適化の事例では、収容器具の充填率向上や荷量の平準化といった、高度な要件も加味した積載計画を自動化している(図 4-31)。

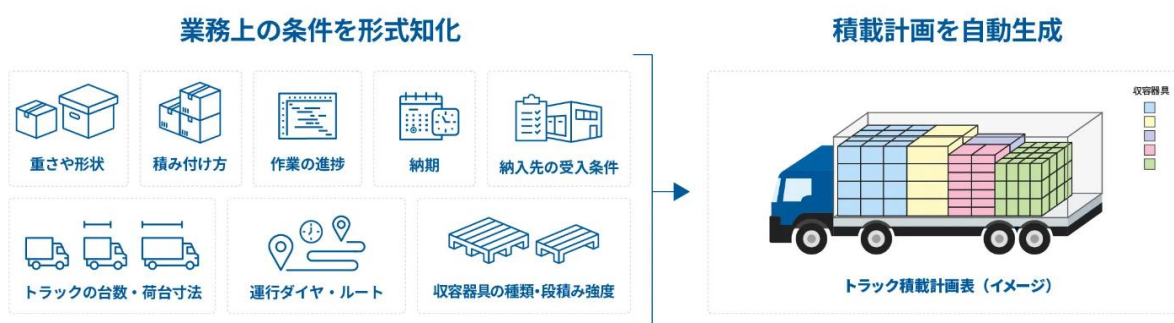


図 4-31 トラック積載計画表イメージ⁹⁴

⁹³ MAGELLAN BLOCKS HP：利用事例（清水建設株式会社）（参照 2024.12）

<https://www.magellanic-clouds.com/blocks/solution/logistics-optimization/>

⁹⁴ MAGELLAN BLOCKS HP：利用事例（トヨタ自動車九州株式会社）（参照 2024.12）

<https://www.magellanic-clouds.com/blocks/solution/logistics-optimization/>

⑤ 配車計画の最適化

必要最小限の車両を効率よく運用することで、CO₂ 排出量を大きく削減することが可能となる。ゴミ回収車の事例では、ゴミ回収データの見える化により、ごみ発生量を AI 予測し、これに基づいて最適な廃棄物収集計画を自動作成しており、運用車両の効率化を図っている(図 4-32)。

三菱地所株式会社が東京・丸の内で保有するビル26棟に対し、約94%の高精度でごみ発生量を予測し、それをもとに最適な収集ルートを一瞬に導出。SDGs・脱炭素化に向け、CO₂の排出量は約57%削減、車両台数は約59%削減される試算を確認。

[お知らせを見る >](#)

項目	現状	最適化結果	現状との差異
総走行距離	2,296.2 km	1,004.2 km	▲ 1,292.0 km
収集車台数	75 台	31 台	▲ 44 台
総作業時間	8,650.9 分	5,372.2 分	▲ 3,278.7 分

※あくまでも削除可能性の検証となり、実際に削減されることを確認しているものではありません。

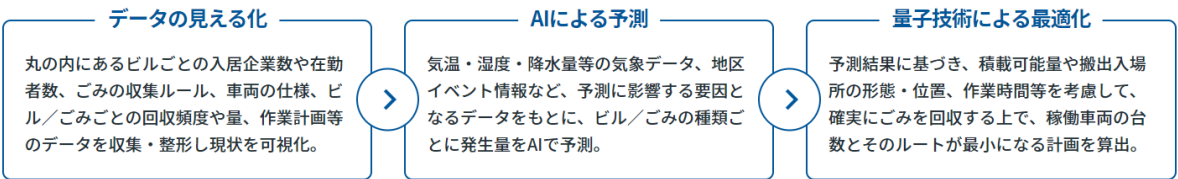


図 4-32 最適な廃棄物収集ルートの解析イメージ⁹⁵

⁹⁵ MAGELLAN BLOCKS HP：利用事例（三菱地所株式会社）（参照 2024.12）
<https://www.magellanic-clouds.com/blocks/solution/logistics-optimization/>

4.3 都市内物流-ファースト・ラストワンマイルに対応する物流システムの構築

4.3.1 ファースト・ラストワンマイル物流システム

近年、ネットショッピングが急速に発達しファースト・ラストワンマイルに対応する宅配の物量が増大している。一方でドライバー不足は深刻化しており、需要と供給のバランスがひっ迫している状況である。このような状況に対応するため、より効率的な配送を可能にする配送ロボットやドローンが開発されている。

国土交通省は「自動配送ロボット活用の手引き⁹⁶」を策定し、物流分野に対する自動配送ロボットの導入拡大に取り組んでいる。自動配送ロボットとは、図 4-33 に示すような歩道を走行する小型の自動運転ロボットであり、国内の複数の地域で食料品の配達等の実証試験が行われている。実証試験は主に半径 1km 以内の範囲で行われているが、より広範囲にロボットが走行できるよう、ロボットの高性能化だけでなく、段差の少ない道路等のインフラを整備する必要がある。



図 4-33 自動配送ロボットの例

ファースト・ラストワンマイルに対応する新しい物流システムとして、ドローンを活用する取り組みも行われている⁹⁷。特に過疎化、人口減少が進む地方都市では、ドライバー不足が都市部以上に深刻であり、また物流拠点から配送先までの配達数量が少なく距離が長いという特徴がある。そのため、ドローンによる自動配送が適していると考えられ、国

⁹⁶ 国土交通省：自動配送ロボット活用の手引き（参照 2024.12）

https://www.meti.go.jp/policy/economy/distribution/deliveryrobot/guidance_ver1.pdf

⁹⁷ ドローンジャーナル：大分県など、調剤薬局間でドローン医薬品配送の実証実験（参照 2024.12）

<https://drone-journal.impress.co.jp/docs/news/1185842.html>

②飛行中



上空 150m で医薬品を運ぶドローン



プロポでの表示画面

③着陸



着陸前のドローン



スマートキーボックスを解除する様子

図 4-34 ドローンを活用した医薬品配送

内数カ所で実証実験が進められている。例えば大分県別府市では、医薬品の配送にドローンを活用することで、省人化だけでなく配達の時時性確保に関する取り組みがなされている（図 4-34）。ドローンの導入にはコストや操縦者の確保、飛行可能時間の短さといった課題が残っているが、国や自治体の補助金制度により、導入へのハードルを下げる取り組みが行われている。そのため、今後ドローンを活用した配送は広がっていくと予想される。

また、重量物を運搬可能な大型ドローンの開発も進められている。建設現場において、最大 30kg の建設資材をドローンで運搬する実証実験が行われた（図 4-35）⁹⁸。この実証実験は山間部や急斜面地の建設現場に安全に資材を運搬する目的で実施されたものである。現状では重量物を積載した状態では飛行可能時間が 15 分と短い、飛行可能時間を延ばす技術開発が進むことで、重量物を運搬可能な大型ドローンを物流システムに適用可能であると考えられる。

さらなる物流の効率化として、自動配送ロボットとドローンを併用する取り組みも実施

⁹⁸ 大林組：重量物運搬ドローンの建設現場での実用化に向けた検証をスカイドライブ社と実施（参照 2024.12）

https://www.obayashi.co.jp/news/detail/news20200213_2.html



図 4-35 30kg の資材を運搬可能なドローン

されている⁹⁹。岐阜県中津川市では、山間部の険しい道路をトラックで配送する代わりに、その区間の配送をドローンで実施し、ドローン着陸地点から最終目的地までは自動配送ロボットによる配達を実施する実証実験が行われている（図 4-36）。この取り組みでは配達に関して人が介在する作業の最小化が図られている。現状では配送業者による一般的な配達と比べてコストが約 10 倍と非常に高額であるが、今後ドローンやロボットの低価格化に加えて通信料の低価格化が進めば、採算の合う物流システムとなる可能性がある。



図 4-36 ドローンと自動配達ロボットを用いた物流システム

4.3.2 集合住宅・大型施設内での物流

集合住宅やショッピングセンター内の物流システムについてもロボットやドローンを活用した高効率化の取り組みが実施されている。神奈川県川崎市では、高齢化が進む集合住

⁹⁹ 4 国土交通省：令和 5 年度 無人航空機等を活用したラストワンマイル配送実証事業（参 2024.12）
<https://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/freight/content/001748785.pdf>

宅内の配送システムとして、図 4-37 に示すロープウェイ型自動配達ロボットの実証実験



図 4-37 ロープウェイ型自動配達ロボット

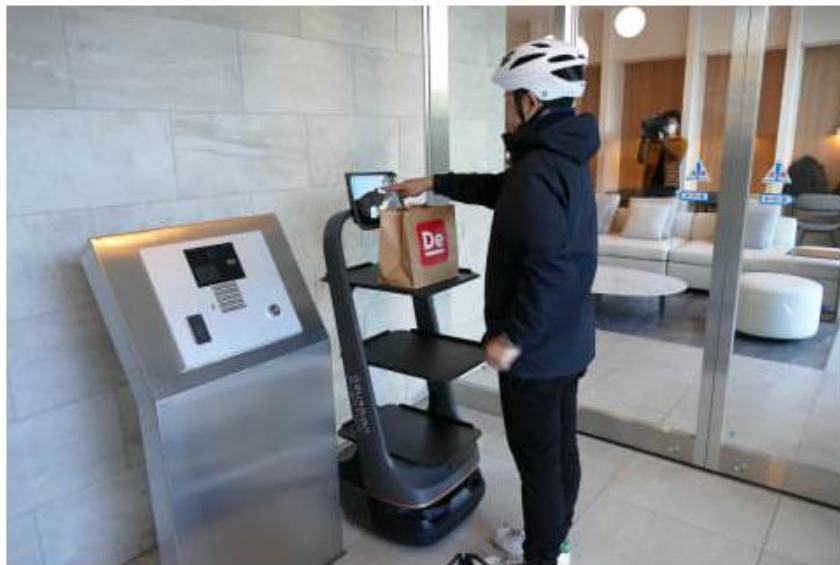


図 4-38 高層マンション内を走行する自動配達ロボット

が行われている¹⁰⁰。このシステムは敷地が広い大規模な団地等で非常に有効であると考えられる。また、垂直移動に時間のかかるタワーマンション内の配達に、ロボットを活用する取り組みも実施されている（図 4-38）。これらの技術が実用化されると、集合住宅等では各戸まで配達するのではなく、配送業者は集合住宅の共用玄関まで荷物を届け、そこからの敷地内の配送はロボットに任せることが可能になり、大幅な省人化が達成可能であると考えられる。

¹⁰⁰ MONOlist：団地の中をロープウェイ型ロボットが買い物配達（参照 2024.12）
<https://monoist.itmedia.co.jp/mn/articles/2311/20/news064.html>

5. 調査研究の結果と課題

5.1 調査研究結果のまとめ

(1) 調査研究の前提

本調査研究では、2050 年を想定した将来予測を行い、その時点において必要となる人流および物流のインフラ設備について検討を行った。2050 年は現在より 25 年先であり、予測が難しい未来ではなく、さまざまな統計資料からある程度正確な予測ができる時点であると考えられる。

(2) 2050 年の未来予測

最初に行った、未来予測においては、大きく自然環境と人口動態などの社会構造の変化を整理し、その時点で課題となる社会課題を解決するための技術に注目することとした。これは、政治・経済に関する政策面の変化は不確実性が大きく、予測自体が困難となると考えられるのに対して、より高度な情報化社会やそれに基づく高い生産性を実現するための技術革新は、各時点における政策の方向性に関わらず、気候変動や人口減少という、普遍的な課題に対して、避けては通れないものと考えられるためである。

自然環境の予測においては、最大の課題は地球温暖化であることはほぼ間違いないものと思われる。地球温暖化は、単純に地球全体の気温を押し上げるにとどまらず、それに伴う豪雨、干ばつなどの災害が地球全体で頻発し、その被害も拡大する傾向にある。こうした環境変化は農業にも大きな影響を及ぼし、生物自体の生存環境が脅かされる懸念がある。このため、将来予測においては、ほぼすべての分野において温暖化対策を考慮する必要があり、人流や物流を考えるうえでも、省エネルギーおよび再生可能エネルギーを効果的に活用することが強く求められる。

一方、人口動態の予測においては、世界全体では引き続き人口が増大するものの、我が国をはじめとする先進諸国では人口減少が進み、特に日本においては、少子高齢化の進行が継続している。さらに、その先には高齢者の人口減少も顕著になり、国全体としての人口減少が加速するものと想定されている。人口減少に伴い、地方から都市への人口移動がさらに進み、消滅集落が全国で発生し、都市部においても高齢独居者に加えて、若年層での単身世帯が増加することも予測されている。

こうした、人口動態の変化により、国土インフラの在り方も大きく変わらざるを得なくなり、当然のことながら、人流や物流インフラやサービスも根本から見直す必要が生じるものと考えられる。

(3) 自然・社会課題解決のための技術革新

自然災害が多発し、労働人口も減少するという、これまでにない過酷な環境において、国民の生活を守り向上していくことが必要である。これに対して国土交通省では、人口の地方への分散と各地域の連携を目指して、「シームレスな拠点連結型国土」を構築する

ために全国的な回廊ネットワークを形成するとしている。この構想においては、災害に対するリダンダンシーを確保すると同時に、多様な働き方を可能するための、人・モノ・情報の高度なネットワーク化を実現するとしている。

上記のような国土デザインを実現するにあたっては、現在、各分野で進められているDX化の推進は不可欠であり、労働集約産業の側面が強い人流や物流分野でのDX化は、特に大きな課題となっている。また、物流の最適化を図るような複雑系の課題解決においては、量子コンピュータの活躍が期待されており、現状の物流において、いわゆる「空気を運んでいる」とされる無駄をなくすと同時に、トラック輸送に伴うCO₂排出量の大幅削減やドライバー不足という社会課題解決において大きな期待が集まっている。

一方、人やモノを実際に移動させるモビリティにおいても、大きな変革が訪れている。自動車産業は「百年に一度の変革」の時期と言われており、CASEと称される技術革新が進められている。加えて、「空飛ぶクルマ」や物流ドローンのような新しいモビリティの登場により、人流、物流の姿も大きく変わろうとしている。さらに、こうした各種モビリティと生活・観光などにおける多様なサービスを一体で運用するMaaSも実証段階から、実用段階を迎えつつある。

以上のような諸条件における調査研究の枠組みを図5-1に示した。

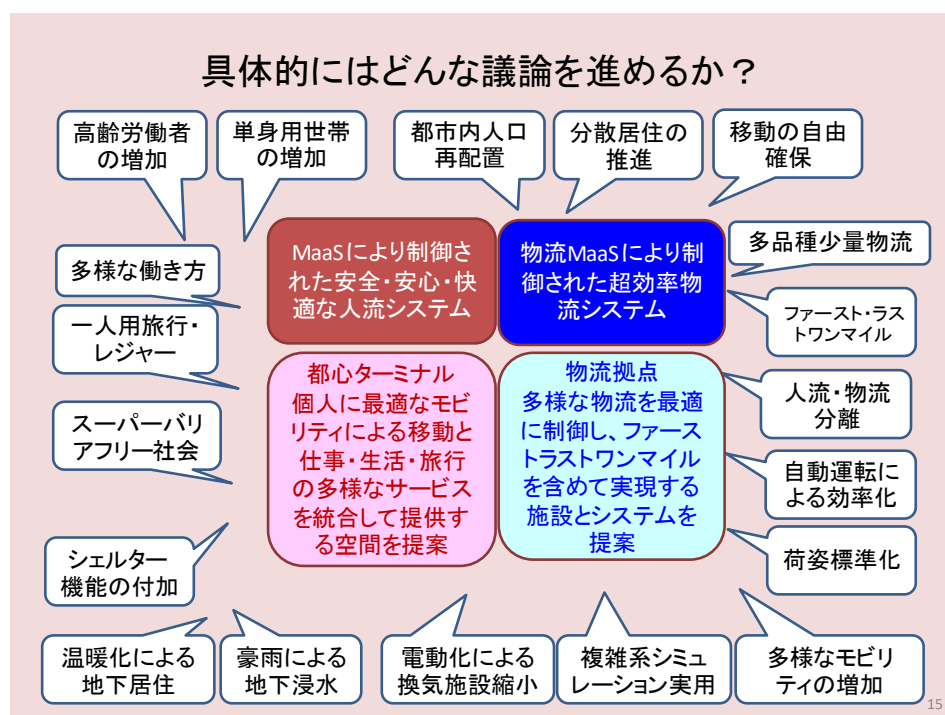


図 5-1 調査・研究の枠組み

(4) 2050 年の人流

人流に関する調査研究は、大きく生活に関する人流と観光に関するものに分けて実施した。これは、国が掲げる観光立国の政策により、特に海外からの観光客が急速に増えてきており、観光に関連する人流の問題が社会問題化していることを受けたものである。このとき、当然ではあるが通常の生活に関する人流と重複する部分も多いことから、観

光における人流では、この分野に特有な課題に注目した検討を行った。

生活における人流では、MaaS による交通インフラの整備の普及・展開が大きな役割を果たすこととなるものと考えられる。これは、MaaS の概念には、単に移動手段としてのモビリティではなく、仕事や学校、買い物、通院、娯楽などあらゆる生活の場面での社会サービスと交通手段が融合したサービスが含まれているためである。

これまでに、国が主導する形で、全国区各地で MaaS の実証実験が行われ、その効果と課題が明確になりつつある。こうした実証事業においては、補助金の対象事業が終了すると同時に取り組み自体が中断・縮小される例もあるが、より事業規模が大きな MaaS が開始されている例もあり、今後の普及・展開が期待されている。また、カーシェアリングなどの取組も注目を集めており、こうしたサービスも MaaS に組み込まれていくことで、全国的なタクシー不足や主に地方の過疎化が進みつつある地域での公共交通機関に替わる移動手段として、その効果が期待されている。

2050 年には、生活のあらゆる分野に連携した MaaS により、移動を伴う多種多様なサービスの利便性が飛躍的に向上し、年齢・性別・障害の有無・言語などが障壁とならない高度な情報活用社会が実現している社会を提示している。

MaaS により高度に制御された大都市ターミナルのイメージを図 5-2 に示した（図 3-15 再掲）。

観光に関する人流においては、観光立国としての目標達成とオーバーツーリズムによる問題解決のために、特定の地域に観光客が過度に集中することによる弊害への対応に絞って検討を行った。その結果、潜在的な観光資源として、産炭施設跡のような産業遺産を観光資源として活用することを考えた。すなわち、こうした産業遺産を既存の観光地と適宜組み合わせ、個々の観光拠点をつなぐ交通インフラを整備することで、回遊型の観光の実現と、生活インフラとの分離にも貢献することが可能となる。さらに、オーバーツーリズムによる混雑緩和において、観光拠点駅の地下空間への荷捌き場の設置や駐車場の地下化などが、景観の保全も含めて寄与できる可能性を示した。

(5) 2050 年の物流

人口減少による物流業界でのマンパワー不足と、独居世帯の増加や生活様式の多様化に伴う小口荷物の増大などにより、物流の生産性の向上は喫緊の課題となっている。これに対してはトラック輸送の自動化や隊列走行による大量輸送など、既に取り組まれている技術に加えて、量子コンピュータによる多種多様の荷物の最適配送計画の即時計算などソフト面での効率化が検討されている。こうした物流 DX の流れを受けて、将来的には物流専用トンネルや既存の鉄道や高速道路網を改良して物流ネットワークを構築するなど、さまざまな将来構想が提案されている。こうした基幹的な物流ネットワークに加えて、いわゆるファースト・ラストワンマイル問題の解決に向けたドローンや配送ロボットの活用を組み込んだ、2050 年における物流の将来構想を提示することができた。これにおいては、これまでに継続して検討を行ってきた、大規模物流ターミナル、都市郊外等に設けられる物流拠点である「結節点拠点ターミナル」、都市内での拠点となる「域内拠点ターミナル」等の配置に加えて、各家庭や事業所までの配送についても取り

込み、将来物流の全体像を示している。これらの検討結果を具体的なイメージとしてとりまとめたものを図 5-3 に示した（図 4-10 再掲）。

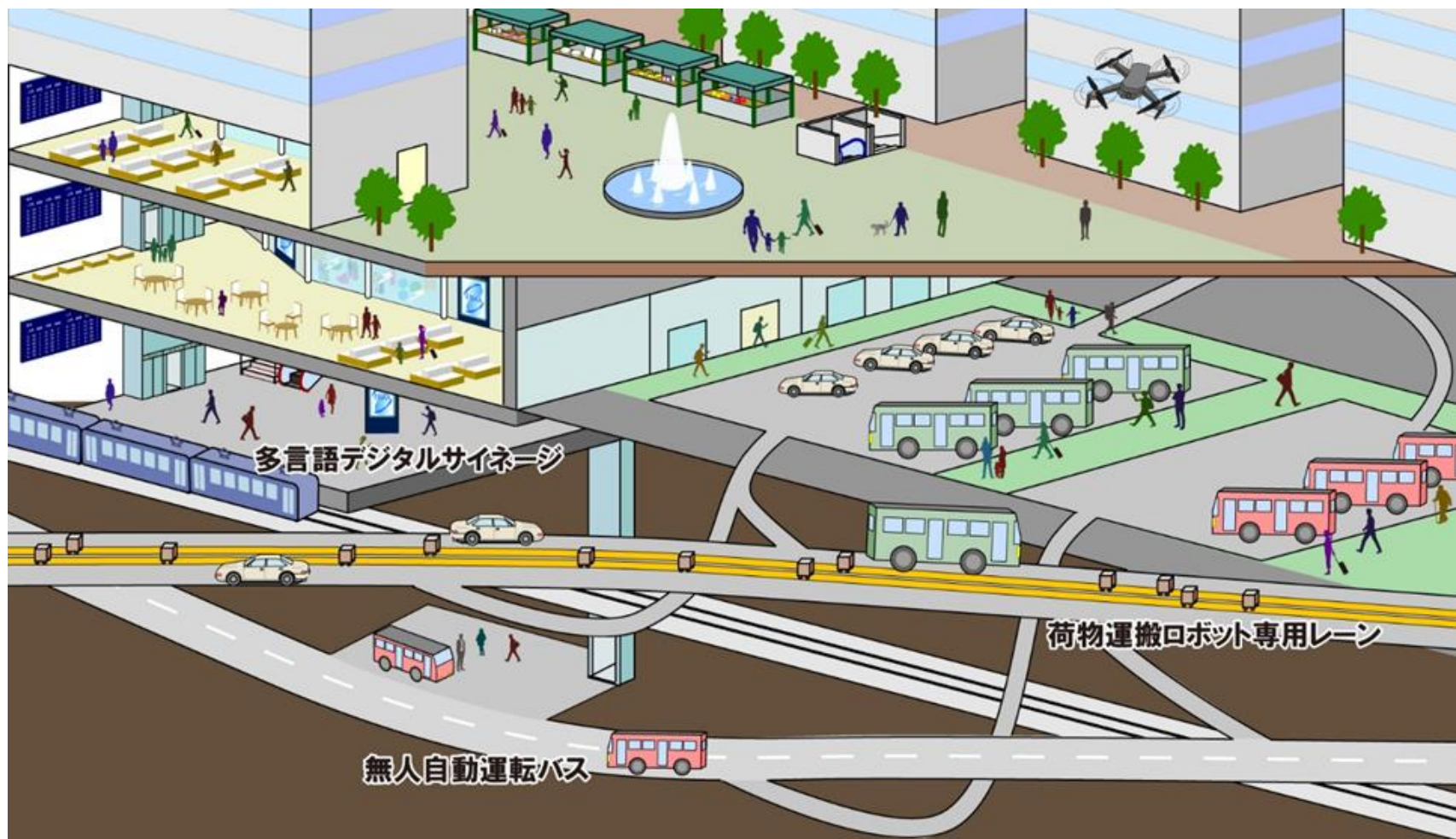


図 5-2 都心部における地上地下一体型ターミナルのイメージ（図 4-10 再掲）

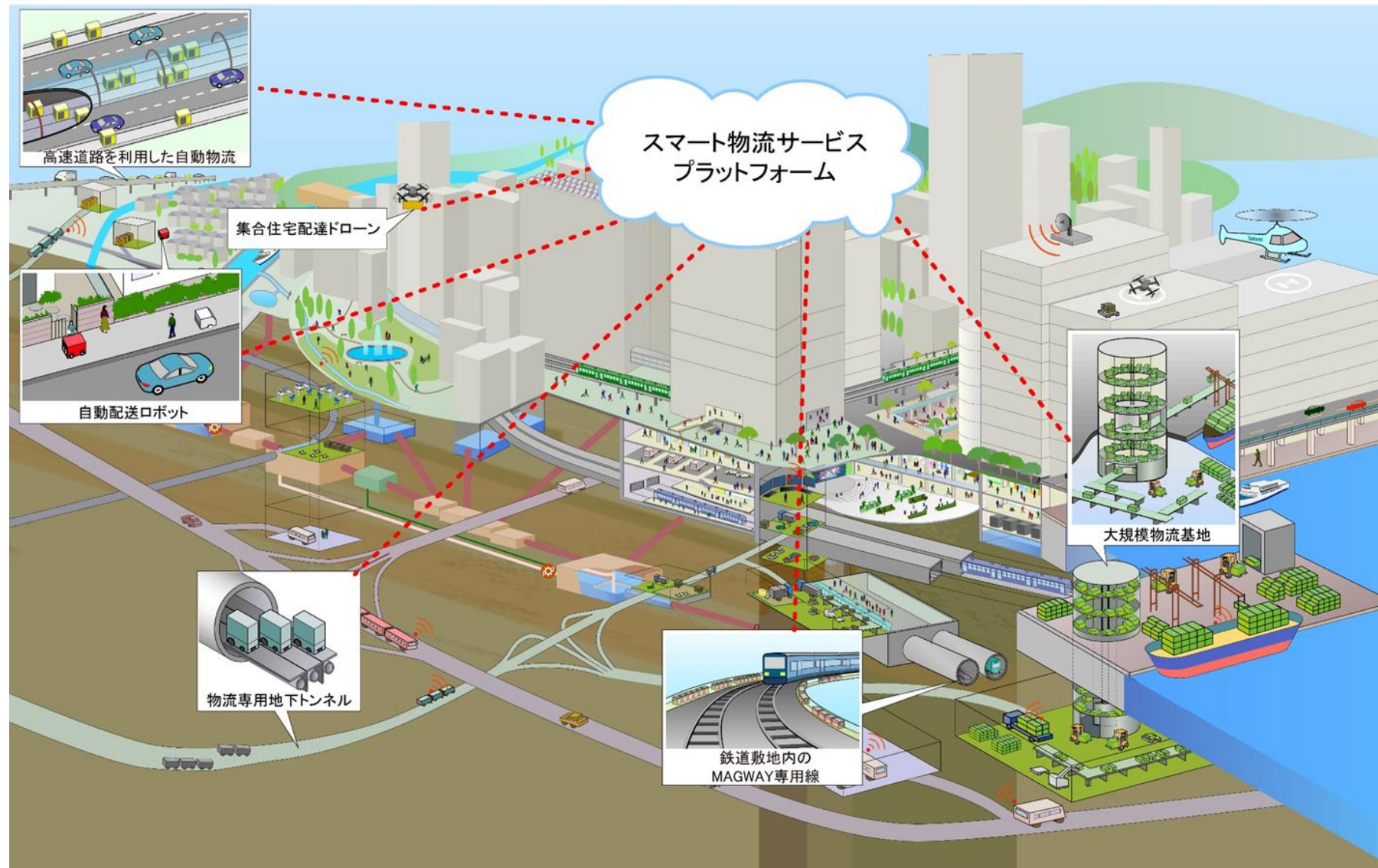


図 5-3 MaaS により高度に制御された物流のイメージ (図 4-10 再掲)

5.2 今後の課題

本調査・研究では、検討結果において述べたように、2050年を目途とした人流・物流の在り方について検討を行い、具体的なイメージとして提言を行った。こうした提言においては、2050年時点での我が国の自然環境や社会環境の変化を念頭におきつつ、現在のインフラを活用しつつも、新しい社会構造に適合する提案となるように努めた。しかし、現在のデータからの未来の予測精度には限界があり、同時に将来の技術革新についても今後の研究開発に依る部分が極めて多いのも事実である。このため、本調査・研究の成果をさらに向上させ、実現に向けて推進する上では、以下のような課題を念頭において、研究開発を進めていく必要があるものと考えられる。

- ① 未来予想の逐次更新：未来社会を考えていく上では、その予測内容を継続して見直し、より現実に近いものとしていくことが必要である。特に技術革新については、最新の研究開発動向をもとに見直していくことが必要である。
- ② 社会環境の変化による見直し：地球温暖化や人口減少というトレンドは、10年程度の単位では大きく変わらないと思われるが、これに対する政策はその時点での政権や国民の判断により、大きく変わる可能性がある。例えば、エネルギー政策や移民政策などは、社会に与えるインパクトが大きく、技術開発の速度や方向性にも大きな影響があるものと推測される。こうした不確実な要因が将来構想に与える影響も、常に注視していく必要がある。
- ③ 関連制度や法規制に関する検討：特に都市部の地下空間の開発においては、管轄する行政機関が多岐に渡り、さまざまな法規制が存在する。例えば、都市部ターミナルの地下利用では、交通機関の事業者、連結する商業ビル等の事業者が存在し、公道の直下はそれぞれの道路管理者などとの調整も必要となる。

法規制には「建築基準法」、「消防法」、「道路法」、「鉄道事業法」、「水防法」などの法規に対応することが求められる。また、MaaSに関連しては、道路、鉄道、船舶等の各事業法に加え、「旅行業法」、「道路交通法」などの関連法規、さらには個人情報情報を扱うことから「個人情報保護法」も関連してくる。一方、自動運転やカーシェアリングも加わる場合は、新たな法体系への適合が必要となる可能性が高い。このように、制度面での検討は重要かつ煩雑であり、今後の大きな検討課題になるものと考えられる。

最後に、地下空間は地震などの災害に対しても避難所的な機能も併せ持ち、地上に比べて気温の変化を受けにくいことから、温暖化が進む中において、都市空間をデザインする上で、大きな利点を有したフロンティアであると考えられる。こうした面からもより快適で利便性に富んだ地下空間の活用方法について、継続した検討が必要であると考えられる。