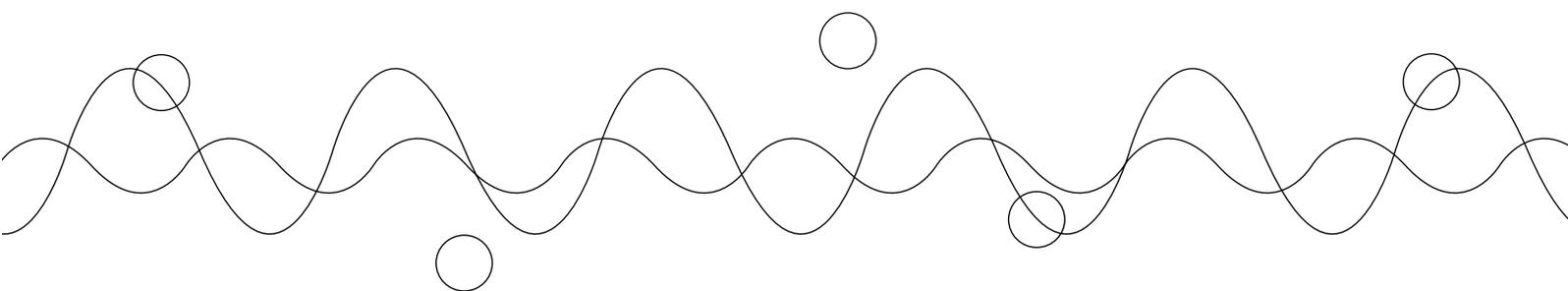


**調査報告書**

**ビジネス・ロジスティクス研究開発の  
現状に関する調査報告書**



## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 背景および目的	
1.2 ロジスティクス、物流、サプライチェーンの位置づけ	
2. 物流に関する概況 .....	4
コラム 1. 物と人の移動の相違について	
3. ビジネス・ロジスティクス分野において取り組むべき技術課題と注目動向 .....	11
3.1 新しいエコシステムを実現するための技術課題	
3.1.1 顧客と社会的便益を考慮した物流経済価値の定量化	
3.1.2 情報通信技術の高度活用	
3.2 既存の社会システムの更なる深化に向けて取り組むべき技術課題	
3.2.1 物流インターフェースに関する技術	
3.2.2 労働者の負担を軽減する自動化、無人化技術とサービス	
3.2.3 共同配送の一層の促進	
4. ビジネス・ロジスティクスの研究開発を推進する上での障壁 .....	16
4.1 研究と現場の乖離	
4.2 全体最適と局所最適のコンフリクト	
4.3 慣習、規制、規格等の社会的障壁	
4.4 研究コミュニティの分散	
5. まとめと今後の展開 .....	20
コラム 2 サバイバル・ロジスティクスに対する期待	

## 参考文献

付録 1. 検討の経緯

付録 2. インタビューにご協力いただいた外部有識者

付録 3. ビジネス・ロジスティクスや物流に関連する主な公表統計調査資料、データ

付録 4. ビジネス・ロジスティクスや物流の研究に関連するコミュニティ

付録 5. 2014 年度予備調査における主な調査内容

## 1. はじめに

### 1.1 背景および目的

科学技術分野の研究開発成果を社会的な便益として還元することへの期待が世界的に高まっている。CRDSでは、社会的期待と科学技術研究開発テーマとの「邂逅」に基づく、課題解決型研究開発戦略の立案方法の構築に取り組んでいる<sup>(1)</sup>。その活動の一つとして、エネルギーに関する課題解決型研究開発戦略、特にわが国の都市におけるエネルギー利用や消費の高効率化を課題とした研究開発の在り方について「都市から構築するわが国の新たなエネルギー需給構造」を提言した<sup>(2)</sup>。その中で「都市部街路における自動車交通の効率化」がエネルギーの効率的利用に関わる重要な研究開発領域の一つとしてあげられている。これは、人の移動の効率化とともに、物の移動を効率化することによって実現されるものである。

わが国における大きな社会課題の一つに少子高齢化があげられる。経済活動の面からは、少子高齢化による労働者人口の減少が懸念されている。また、都市化の進展によって人口や各種機能の過密化が進む一方で、過疎化が進む地域が発生してくる。その結果、都市部では多様で多頻度な需要に供給が十分に追いつかなくなること、過疎部においては稼働率低下によるコスト面での非効率性が大きな問題となる。特に流通・物流に関連する分野は、このような問題点が顕在化しやすいことが懸念される。

社会の経済活動を支えているのは、人や物の流れである。とりわけ物については、暮らしを支えるさまざまな商品や製品において、原料調達から生産や販売を経て、顧客の手元に届き消費され、さらにその後は廃棄されるという一連の流れ、すなわちサプライチェーンが形成されており、我々はそれによって便益を享受している。この点において物の流れの本源的需要は「商取引」である。

情報通信技術（ICT）の進展は、流通や物流においてもネット通販の普及拡大などの変革に大きな影響をもたらしている。最近のIoT（モノのインターネット）やCPS（サイバー・フィジカル・システム）などの技術やシステムは、従来のビジネスや考え方を古いものとし、これまでの社会・経済構造を大きく変革する可能性がある。ドイツにおける「Industrie 4.0」も、ICTを活用して各種機器や工場、中小企業を連携し、製造業、及び関連する物流のあり方を根本から変革しようとしている。加えて、自動走行システムや無人飛行機、3Dプリンタなどの新しい技術の進展や普及も、社会・経済構造の大胆な変革に繋がる可能性がある。

一方で、物流に関わる分野は、これまでに構築されてきた社会・経済構造において多様なステークホルダーが存在し、流通構造の複雑さなどの現状を踏まえると、技術的優位性だけで変革できるものではないことが予想される。こうした観点からの技術的な伸び代も整理しておくことが必要である。

本報告書では、経済活動を目的とした物の流れである物流に関する戦略や計画である「ビジネス・ロジスティクス」に焦点を当て、その国内における現状、及び科学技術の観点からの課題を示した。さらに、それらの課題に取り組むために解決しなければならない問題点について整理した。

### 1.2 ロジスティクス、物流、サプライチェーンの位置づけ

以下、本報告で対象とするビジネス・ロジスティクス、および密接に関係する物流、サプライチェーンの具体的な定義と関係性について整理する<sup>(3),(4)</sup>。

### ●ロジスティクス（Logistics）

元々は軍事用語を由来とし、日本語訳は「兵站」である。武器や弾薬、食料、医薬品などの必要物資を戦場の兵士に届ける後方支援の仕組みのことで、「ミリタリー・ロジスティクス」とも呼ばれる。

20世紀後半には、経済活動を目的とし、生産から流通（商取引流通、および物的流通）、消費までの一連の活動全体に対して、ロジスティクスという言葉が使用されるようになり、「ビジネス・ロジスティクス」と呼ばれる。通常、ロジスティクスというとこれを指す。

近年、企業活動だけでなく、社会全体の公益性を目的としたロジスティクスの考え方が生まれており、これは「ソーシャル・ロジスティクス」と呼ばれる。社会公益として例えば、環境負荷低減や防災等があげられる。

上記3つのロジスティクスについて表1-1にまとめる。

表1-1 ロジスティクスの種類と特徴(文献(4)を元に作成)

	目的	実施主体	受益者	評価
ミリタリー・ロジスティクス	国家運営	軍隊	国家	国家利益
ビジネス・ロジスティクス	企業最適 (コスト最小化、付加価値最大化)	企業	顧客、荷主	企業利益
ソーシャル・ロジスティクス	社会最適 (環境負荷最小、社会整備、防災、安全・安心)	行政、企業	市民	社会利益

### ●物流（Physical distribution）

ビジネス・ロジスティクスと混同されやすい用語として物流がある。物流は経済活動を目的とした物的流通のことである。物流という用語は、1950年代に米国の流通を参考にし、日本語訳として充てられた。物流は6つの機能（輸送、保管、荷役、包装、流通加工、情報）で構成される。なお、これらの機能の一つである輸送が貨物車交通などに該当し、これは物資流動（Freight transport）である。

### ●サプライチェーン（Supply chain）

企業活動において、製品等を最終的に消費者に届けるまでにさまざまな供給者（企業）が繋がっており、この原料の調達から消費まで（場合によっては廃棄や再利用まで）の各行程の連鎖全体をサプライチェーンと呼ぶ（日本語訳では供給連鎖）。なお、サプライチェーンでつながる各供給者を管理するのがサプライチェーン・マネジメントである。

上記の各用語の関係性について解説する<sup>(5)</sup>。企業活動においてその基本的な本源的需要は商取引であり、その企業利益最大化のために最適なサプライチェーンを構成する必要がある。サプライチェーンの効率化のために各行程を繋ぐ手段が物流であり、その物流全体を俯瞰し、立てる戦略や計画がロジスティクス（ビジネス・ロジスティクス）だといえる。それらの関係性を図1-1に示す。

したがって、ビジネス・ロジスティクスを高度化するという事は、物流の各機能を単独で磨き上げるのではなく、最適なサプライチェーン構築のための戦略を構築するという事である。その最大の目的は、経済価値最大化、すなわち利益最大化を目指すことであり、それを達成することで、環境価値や社会公益性も向上できる。

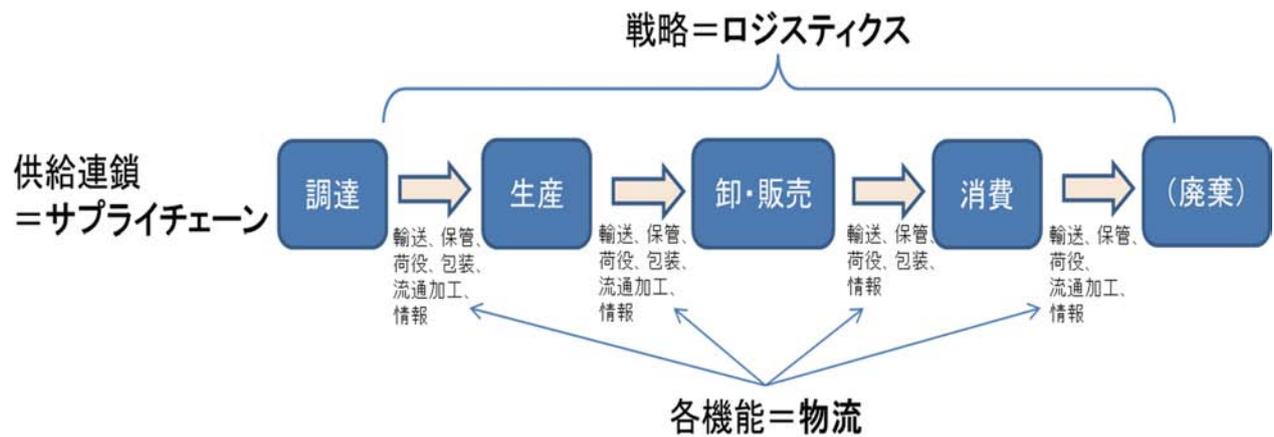


図1-1 ロジスティクス、物流、サプライチェーンの関係

## 2. 物流に関する概況

前章で記したように、ビジネス・ロジスティクスはサプライチェーン各行程を繋ぐ物流全体の戦略を対象としている。本章では、まずビジネス・ロジスティクスの重要な構成要素である物流の概況について整理する。

### ●業界全般<sup>(6)</sup>

物流事業者別の概要を表2-1に示す。物流事業に関連する市場規模は約24兆円（2012年度）で、これは日本国のGDP総額（約473兆円）の5%程度に相当する。トラック運送業の収入が物流事業者全体の約6割を占める。また、物流事業に関連する労働就業者は約169万人（2012年度）で、これは日本の全産業就業者数（約63百万人）の3%程度を占める。トラック運送業に関わる労働者数が物流事業者全体の8割以上を占めている。なお、トラック運送業の事業者数は約6万3千件と非常に多いが、この99%以上は中小企業である。

表2-1 物流事業分野ごとの概要（2012年度）（文献(6)を元に作成）

事業者の種類	営業収入(円)	事業者数	従業員数(人)
トラック運送業	14兆3,685億	62,936	1,440,000
JR貨物	1,312億	1	6,000
内航海運業	8,998億	3,707	20,000
外航海運業	4兆3,337億	197	7,000
港湾運送業	1兆942億	884	52,000
航空貨物輸送事業	2,684億	21	34,000
鉄道利用輸送事業	2,529億	1047	6,000
外航利用輸送事業	3,185億	769	4,000
航空利用輸送事業	5,564億	182	15,000
倉庫業	1兆7,608億	6,059	105,000
トラックターミナル業	286億	16	500
物流事業合計	約24兆	—	約1,690,000
参考)全産業	約473兆	—	約63,000,000

### ●物流コスト<sup>(7)</sup>

売上高に占める物流コスト比率の推移を図2-1に示す。90年代の6%台から2000年代に入ると5%台に減少し、2010年以降は4%台で推移している。また、この値は、米国における物流コスト比率（年次により変化が大きいが、7%から10%で推移）に比べて低い。米国と日本でコストの算出方法に違いがあるため一概には言えないが、日本の物流システムが米国に比べて効率的であるともいえる。ただし、今後の国内における労働力不足等により、物流コストが上昇に転じる可能性も懸念される。

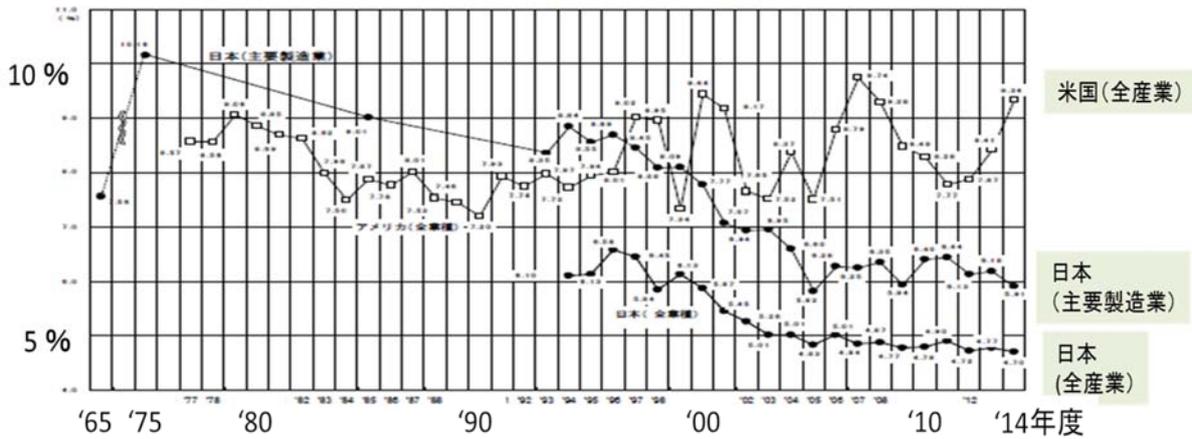


図2-1 日米における売上高に占める物流コスト比率の推移<sup>(7)</sup>

●物流コスト構成比<sup>(7)</sup>

物流コストのうち、輸送費が半分以上を占めており、荷役費、保管費がそれぞれ16%、15%と続いている（図2-2）。荷役に関しては、荷物の載せ替えやピッキング、仕分け作業などを人手で行うことが多いことが、コストが増加する要因の一つと考えられる。

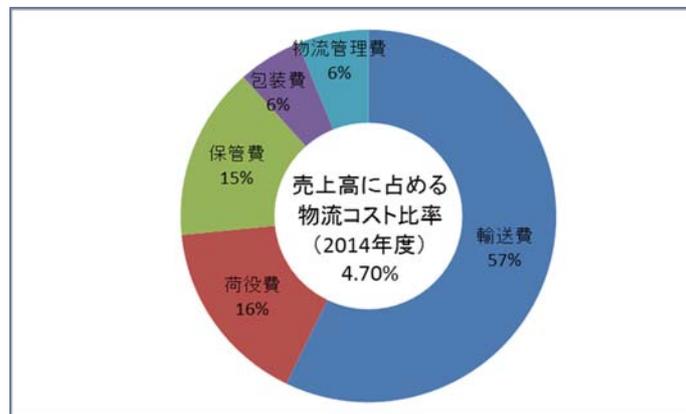


図2-2 売上高に占める物流コスト比率とその構成比（文献(7)を元に作成）

●貨物需要<sup>(6), (8), (9)</sup>

国内の貨物輸送量は、1990年代以降、トンキロベースにおいて横ばいから若干の減少傾向である（図2-3）。また、図2-4に示すように、出荷一件当たりの貨物量（流動ロット）は1990年以降減少し続けており、貨物の小ロット化が進んでいる、一方で、物流件数は増加し続けており、その中でも0.1トン未満の貨物の増加が著しく、件数ベースの物流量は増加しており、貨物需要の小口多頻度化が進んでいることがわかる。ネット通販の普及など、流通形態の変化による影響などが考えられる。

貨物需要の中で増加が顕著な例として、宅配便の取扱個数があげられる。1993年から2013年までの20年間で3倍近く増加している（図2-5）。今後もネット通販や宅配サービスに対する需要の更なる高まりなどから、増加が続いていくことが予測される。

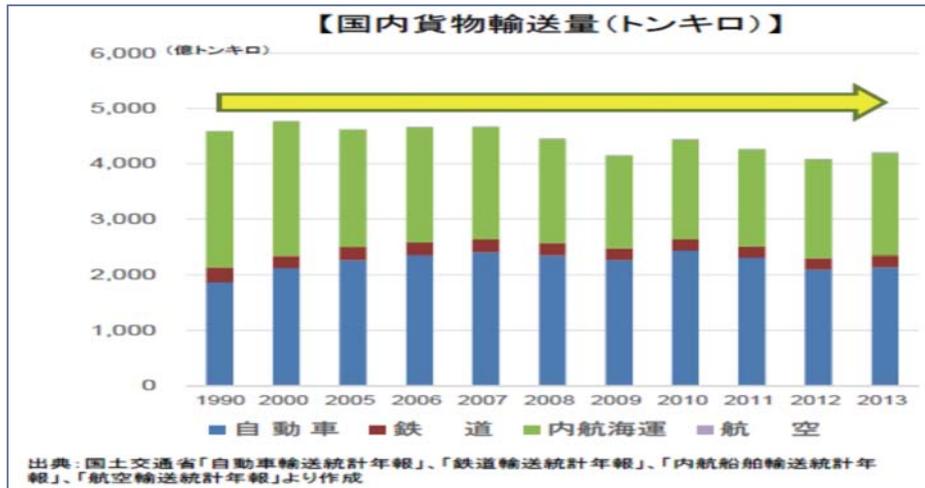


図2-3 国内貨物輸送量の推移(トンキロベース) (6)

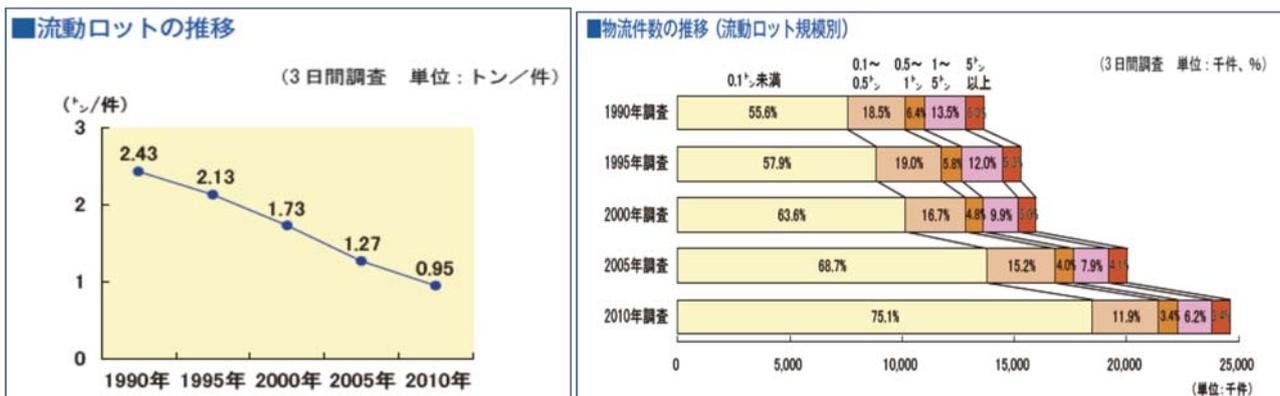


図2-4 貨物の流動ロット、及び物流件数の推移 (8)

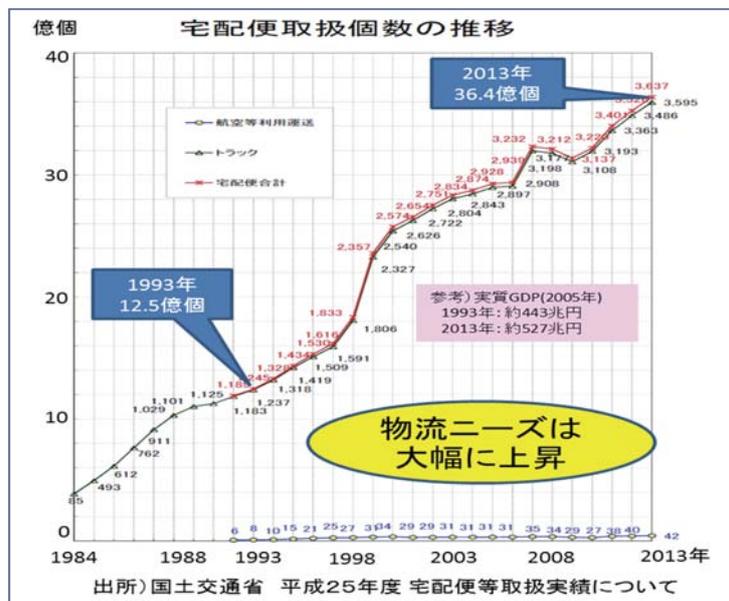


図2-5 宅配便の取り扱い個数の推移 (文献(9)に追記)

●エネルギー消費<sup>(10)・(14)</sup>

運輸部門（旅客輸送＋貨物輸送）によるエネルギー消費量は、国内総消費量の23%を占めており（2013年度）、そのうち、貨物輸送は運輸部門の39%を占めている<sup>(10)</sup>。（付録5参照）

貨物輸送のエネルギー消費の推移について図2-6に示す。1970年代以降、エネルギー消費原単位は減少傾向である。エネルギー消費量は2000年頃までは増加していたが、それ以降は減少傾向である。また、貨物輸送のエネルギー消費のうち、大部分がトラックなどの貨物自動車によるものとなっており、2013年度には9割近くに達している。

経済産業省の総合資源エネルギー調査会にて、2030年までの長期エネルギー需給見通しが調査検討され、2015年8月にとりまとめとして公表されている<sup>(12)</sup>。エネルギー利用における各部門の対策とそれによる省エネポテンシャルが予測されており、運輸部門における施策成果として進展する省エネルギー対策として、主に以下があげられている。（\*印は貨物輸送に関連する対策）

## ①自動車単体対策

燃費改善 \*

次世代自動車の普及（HV、PHV、EV、FCV、クリーンディーゼル車など） \*

## ②その他対策（交通流対策など）

交通流対策の推進 \*

公共交通機関の利用促進

モーダルシフト（トラックから鉄道利用等への転換） \*

港湾最適選択による貨物の陸上輸送距離低減 \*

港湾における総合的な低炭素化 \*

トラック輸送の効率化 \*

鉄道、船舶、航空のエネルギー消費効率向上 \*

エコドライブ推進 \*

自動運転の推進 \*

運輸部門における今後のエネルギー消費については、省エネ技術の進展に加え、輸送効率の向上や需要減少などによって、旅客、貨物ともに減少することが予測されている。

長期エネルギー需給見通しにおいて、2030年の国内エネルギー需要は、徹底的な省エネ対策により、対策前に比べて13%（5030万 kL）の削減が可能であると報告されている<sup>(13)</sup>。この13%のうち、運輸部門（旅客輸送＋貨物輸送）では、上記の①自動車単体対策で934万kL、②交通流対策で668万 kLの省エネ効果が試算されている<sup>(14)</sup>。2030年の省エネ対策後のわが国全体の最終エネルギー消費量は全体で326百万 kLと予測されているので、全体のエネルギー消費に対する削減効果は、①自動車単体対策で2.9%、②交通流対策で2.0%となる。物流に着目して省エネ化を目指した場合、輸送トラック自体の燃費改善やEVやCNG車両への転換は対策①であり、その他の対策内容は②に含まれる。

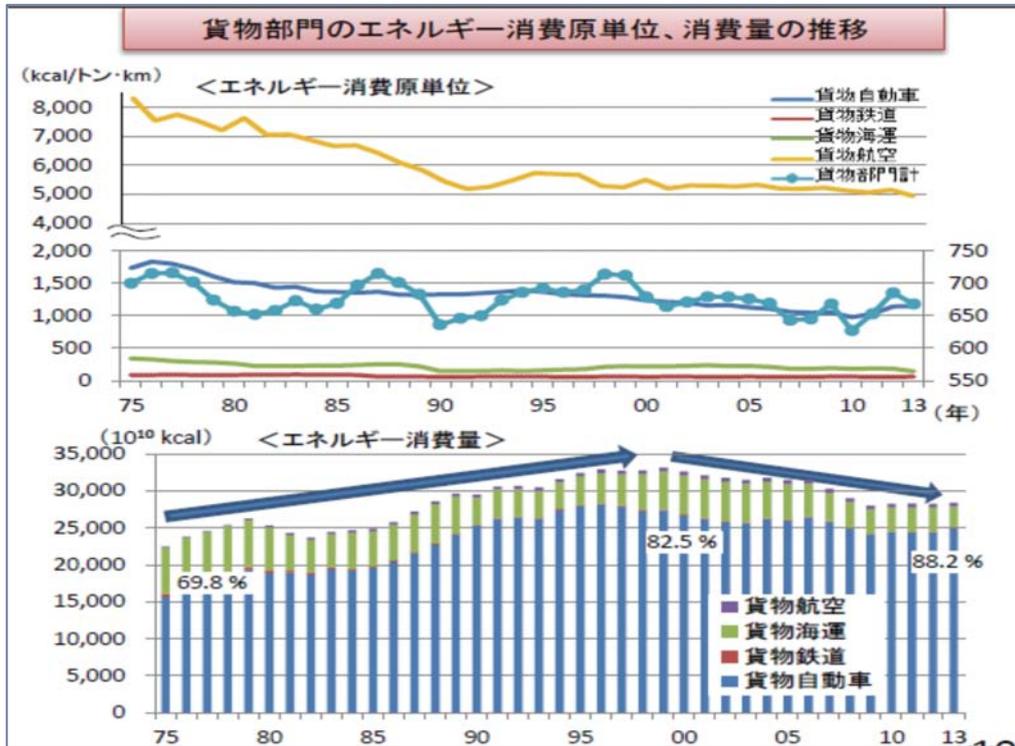


図2-6 貨物部門のエネルギー消費原単位、消費量の推移<sup>(1)</sup>

+++++

## コラム1. 物と人の移動の相違について

物と人を輸送や移動の対象物として考える場合、表に示すような様々な相違点がある。物は、その構成単位や必要とするスペース、温度管理などが品目ごとに多様であり、かつ流通過程において変化する場合も多いため、その移動の全体像を捉えることを難しくしている。日本における海運や河川船便、各種路線網や交通などの輸送体系は、元々は物資輸送を目的として開発され、長い歴史をかけて発展してきた<sup>(1)</sup>。また、江戸時代からの都市計画は、軍備と流通に観点を置き、行われてきた。一方で、人の移動が特に重要視されるようになったのは、戦後日本で自動車や旅客鉄道などが発展してきてからである。現在のさまざまな施策や技術開発、サービス、研究は、人がいかに快適に、効率よく移動するかという点に重点が置かれているものが多い。例えば、大手町・丸の内・有楽町地区など人や物が集積する都心部や最新大型複合施設などにおいては、人の導線を中心に考え、物の導線は迂回させたりバックヤードに持っていくなど、人と物の導線はできるだけ分けて考えられている。また、新幹線や旅客用車両の空いた座席やスペースに貨物を積載することは、事業者の経営判断や利用者の心理的側面を考えると、実現のハードルが高いと考えられる。物中心から人中心へ、そして人と物の移動を分離して考えるというのが現在の主流であり、時代の流れに沿っていると思われる。

ただし、例外もある。

例えば、東京大学と東京海洋大学で「ホスピタル・ロジスティクス講座」（佐川急便寄付）が2004年から5年間開設された<sup>(2)</sup>。ここでのホスピタル・ロジスティクス（病院のロジスティクス）は、

- ・ 医療・看護活動を支える医薬品や医療材料の供給方法の改善
- ・ 患者様の利便性向上のための物流サービスの開発
- ・ 病院の経営改善に資する物品調達・管理方法の改善

と定義されている。入院・通院患者の替わりに入退院の荷物や入院時の必要物資、食事などを届けることにより、患者側や病院側双方の負担を軽減するサービス構築を目指したものである。効果として、患者に対するサービス向上と負担低減、また病院側にとっても過剰なサービスを低減し、必要物資の見える化による費用削減などが得られる。なお、本分野については、欧州や韓国で研究が進んでいるといわれている。

また、今後過疎化が進んで運ぶ荷物は少ないが需要がある地域に限っては、旅客用車両へ荷物を混載せざるを得ない場合もある。実証の事例として、路線バスを活用したヤマト運輸における宅急便輸送「貨客混載」の取組み<sup>(3)</sup>をあげる。高齢化や過疎化が進む中山間地域において、通勤や買物利用に用いる路線バス維持のための生産性向上、および物流業界のドライバー不足等による物流網維持のための物流効率化の必要性から、路線バスを活用した宅急便輸送「貨客混載」が2015年6月より始まっている。

表 物と人を移動の対象として考える場合のさまざまな違い（有識者インタビューを元に作成）

	物	人
意思	意思を持たない	意思を持つ
単位	個数、重量、体積など不定 流通過程で変化する場合あり	基本単位は「人」で一つ
必要スペース	品目や形状により多様 流通過程で変化する場合あり	1人に1席
温度管理	品目に応じて冷凍や冷蔵、高温 流通過程で変化する場合あり	常温
ルート	一方通行	出発点(家)に帰着
経路選択	到着価値、締切価値 (必要とされる時刻に届く)	時間価値 (早く、リーズナブルに到着)
移動に対する需要	本源的) 商取引 派生的) 物的流通	本源的) 散歩、ドライブなど 派生的) 通勤、通学、買物、商用、観光 など

【コラム1 参考文献】

- (1) 苦瀬博仁, 海事交通研究(年報), 第56集, (2007).
- (2) 東京大学大学院医学系研究科ホスピタル・ロジスティクス講座ホームページ (2009年に講座は終了), <http://hpt-logi.umin.jp/>.
- (3) ヤマト運輸ニュースリリース,  
[http://www.yamato-hd.co.jp/news/h27/h27\\_18\\_01news.html](http://www.yamato-hd.co.jp/news/h27/h27_18_01news.html), (2015).

+++++

### 3. ビジネス・ロジスティクス分野において取り組むべき技術課題と注目動向

全く新たな社会構築を目指した「新しいエコシステム社会実現」と、現在すでに構築されている社会を基盤として深化させる「現在の社会システムの更なる深化」のそれぞれに対して、取り組むべき技術課題とその注目動向について整理した。なお、「現在の社会システムの更なる深化」としてあげられている課題は、「新しいエコシステム社会実現」に対しても適用できる課題である。

#### 3.1 新しいエコシステムを実現するための技術課題

全く新たな社会全体の「エコシステム」の構築を目指すことが目的であり、そのために個々のサプライチェーンだけでなく、複数のサプライチェーン全体の最適化・効率化も実現する必要がある。ビジネス・ロジスティクスの真の目的はそこにある。そのための課題と注目動向として、以下の2つをあげる。

##### 3.1.1 顧客と社会的便益を考慮した物流経済価値の定量化

物流業者は、荷主（顧客）のニーズを最大限満たすことで、そのサービス対価を受け取ることができる。顧客にとっての物流へのニーズは「必要な時間に、必要な場所に、必要な物が届いていること」であるが、その3つのニーズと物流コストはトレードオフの関係でもある。顧客にとっての物流の費用対便益の計算理論や、それを最大化する手法について、課題として取り組む必要がある。

また、ある一人の荷主の利益最大化だけでなく、複雑に相互依存する取引主間全体としての物流に関する利益最大化、それを包含した地域や社会公益性、あるいはGDP等への影響やその費用対便益の理論や最大化手法については、ほとんど手が付けられていない。アプローチとしては「環境経済学」と同様になる。研究としては、空間応用一般均衡（SCGE：Spatial Computable General Equilibrium）モデルを活用した分析などが考えられる。

物流需要は、サプライチェーンにおける製品や原料生産、取引、消費からの派生需要である。したがって、サプライチェーン上で生じているさまざまな現象を理解することが、物流の需要やメカニズムの把握につながり、これによってロジスティクスを戦略として構築することができる。研究としては、製品の生産、取引、消費の担い手である製造業者、卸売業者、小売業者、消費者（消費市場）、および、製品の輸送の担い手である物流業者の意思決定や行動を記述し、サプライチェーンのネットワーク上での製品の生産量、取引量、価格、輸送量などを算出する数理的手法（サプライチェーンネットワーク均衡モデル）の研究が、京大山田らのグループで行われている<sup>(15)</sup>、<sup>(16)</sup>。また、このような理論やモデルは、「コンパクトシティ」と呼ばれる都市構造の再構築や生産・物流立地の最適配置のための検討材料となることが期待される。

また事業レベルとしては、佐川急便とリバビューが、商品の在庫管理・入出荷の動脈物流と、返品回収や滞留商品の検品、再流通までのいわゆる静脈物流をワンストップで行うサービスの構築・提供をめざし、2014年に業務提携を開始している<sup>(17)</sup>。返品物流や余剰在庫の減少によるコスト削減の効果が期待されている。

その他、社会全体や地球環境の視点からサプライチェーンを考えた場合の課題として、資源利用が社会・経済的に与える影響の評価や見える化を行うリソースロジスティクス（resource logistics）の可視化に関する研究<sup>(18)</sup>や、ゴミの発生量の最小化、消費の立場から考えた最適な流通や生産に関する研究（SCP：Sustainable Consumption and Production）<sup>(19)</sup>などがあげられる。

### 3.1.2 情報通信技術の高度活用

情報通信技術（ICT）の進化や発展は、社会経済の変革にすでに大きな影響をもたらしている。ロジスティクスや物流の分野においても、流通システムのさまざまな変革にすでに影響をもたらしている。また、配送時間の短縮や、端末物流（ラストワンマイル）問題に対していつでもどこでも荷物の受取り可能にすることなど、ICTを活用した新たなサービスの提供が検討されている。

Amazonによって2012年に特許出願されている予測配送システムの仕組み<sup>(20)</sup>は、過去の顧客の注文実績や商品・キーワード検索実績、ショッピングカート内容実績、キャンセル・返品実績、ある商品にマウスのカーソルが留まっていた時間などを根拠とし、その顧客が今後注文しそうな商品や時期を予測して顧客の住所近くのハブ拠点にあらかじめ配送し、顧客からの注文を待つものである。商品注文から入手までの時間短縮につながる。

ラストワンマイル問題への対応として、自宅で宅配物を受け取れない荷主が、自家用車のトランクを宅配ボックスとして荷物が受け取れるサービスを、Amazon、DHL、Audiが共同でドイツで実証することが発表されている<sup>(21)</sup>。宅配業者からの連絡を受けた受取り主が、自家用車のトランクをICTを活用して遠隔操作で開錠させる仕組みである。同様のサービスはVolvoなどでも提案されている。

サイバーの世界と物理的（現実）世界を一体化したような考え方として「REALITY 2.0」が提唱されている<sup>(22)</sup>。このような超サイバー社会の実現により、これまでの価値観が変容し、既存の社会経済システムは大きく変貌する可能性がある。ICTを高度活用し、新しいサプライチェーンとそ

のためのロジスティクスの研究開発を行うことが期待される。

その他、IoTの世界が実現した場合に備えて、全ての物の数量・品質・位置の3つの情報をGIS（Geographic Information System：地理情報システム）と連携して把握でき、物資を識別できるシステムを開発しておくことが必要だと考えられる。この利用目的としては特に、災害時における救援物資の迅速な確保や補給への適用が期待される。

## 3.2 既存の社会システムの更なる深化に向けて取り組むべき技術課題

現在すでに構築されている社会構造においては、多くのステークホルダーが関与しており、複雑な経済構造を形成している。そのため、現在の社会システムをいきなり大きく変えることは容易ではない。したがって現在の社会システムの延長線上に存在する課題に取り組んでいくことも必要である。そのなかで、科学技術的な課題について、以下の3つに整理した。

### 3.2.1 物流インターフェースに関する技術

行程と行程、機器と機器、あるいは異なる事業者間をつなぐさまざまな間の接続地点、すなわちインターフェースにおいて、多種多様な物の荷役を効率的に行うための研究開発が必要である。

トラックや鉄道、船舶などの輸送機器への荷物の積み下ろしや、倉庫や工場への入出庫、搬送などの一連の作業は荷役とよばれる。無人フォークリフト（豊田自動織機<sup>(23)</sup>など）や無人搬送車AGV（Automatic Guided Vehicle）（明電舎<sup>(24)</sup>など）など、さまざまな無人荷役機器が企業によって開発され、すでにさまざまな現場で広く使用されている。極寒環境下におけるガイドレスの無人フォークリフトも研究開発も行われている（岡山県立大神代ら<sup>(25)</sup>）。また、製造業や流通業における仕分けやピッキング、搬送などの自動化システム（ダイフク<sup>(26)</sup>など）なども、工場や倉庫などで広く活躍している。さらに、国内外の港湾コンテナターミナルなどにおいても、コンテナ搬送用無人搬送車AGV（豊田自動織機<sup>(27)</sup>）や、遠隔操作機能付き自動トランスファークレーンRTG（三菱重

工<sup>(28)</sup>が導入されており、荷役作業効率の向上に貢献している。これらに対する技術課題としては、より一層のエネルギー利用効率の向上や、ガイドレスなど自動化技術のさらなる進化、給電時間の短縮、非接触給電技術などがあげられるが、いずれも企業で行う開発段階の課題が主である。

上記のような大規模な施設や工場内、あるいは荷役対象物のサイズや形状がある程度一定な場合においては自動化が進んでいる一方で、さまざまなサイズや形状の物を取り扱う場合や中小規模の施設や現場などでは、荷役を人手で行っている場合が現状ではまだまだ多い。さらに、トラック配送時における荷役の手待ち時間が長いという現状があり、これがトラックドライバーの労働時間を長くしている原因の一つとも指摘されている<sup>(29)</sup>。さまざまなサイズや形状の物の荷役作業を効率的に行い、時間短縮の実現を可能とするような荷役機器の研究開発、さらには、RFIDなどを活用して物と荷役機器が情報連携して荷役作業を事前予測するなどの研究が必要と考えられる。

その他、サプライチェーン全体を俯瞰した上で、荷物積替えを行うノード（拠点）の空間的、時間的な最適化や、荷役を考慮した倉庫や工場内の最適配置なども、インターフェースに関する課題としてあげられる。

### 3.2.2 労働者の負担を軽減する自動化、無人化技術とサービス

今後の労働者人口の減少や高齢化が予測される中で、労働者の負担を軽減するための自動化・無人化技術、新たなサービスの研究開発が必要である。

過疎地や遠隔地へのラストワンマイル配送の課題に対し、小型無人飛行機（ドローン）を物流へ適用することが期待されている。ドローンによる配送サービス「PrimeAir<sup>(30)</sup>」の構想をAmazonが2013年に発表した後、DHL（parcelcopter<sup>(31)</sup>）やGoogle（Project Wing<sup>(32)</sup>）なども参入し、ドローンによる配送に対する期待は高まっている。Amazonはその実用化に向けた動きを着実に進めており、2015年には米連邦航空局（FAA）が実証実験の許可をしている。Amazonでは、重量5ポンド（約2.3kg）の荷物を距離10マイル（約16km）の範囲内ならば30分以内に届けることを目指しており、2015年11月に新たに公開されたプロトタイプ機では、400フィート（約122m）の高さまで垂直上昇し、最高時速57マイル（約90km/h）での飛行を可能としている<sup>(30)</sup>。また、米国ベンチャー企業のMatternetは、主に医薬品の輸送を目的とし、すでに開発途上国でのドローン空輸ネットワークを開発している<sup>(33)</sup>。現在、配送専用設計されたドローン「Matternet ONE」を開発中<sup>(34)</sup>で、重量1kgの荷物を積載し、距離20km飛行することができ、クラウドと通信しながら、都市部での配送することを目的としている。日本では、国家戦略特区においてドローンの利活用の検討がされており、その環境整備を急ぐ必要がある。

小型無人飛行機の技術的課題<sup>(35)</sup>としては、GPSの精度向上やGPS信号捕獲できない場合の位置推定、リアルタイム環境情報の認識・飛行制御、長時間安定飛行のためのバッテリー小型軽量化、通信途絶や故障等への対応などがあげられる。また制度面の課題としては、操縦者の技能保証（ライセンス、許認可制度）や安全性（認証、検査制度）、飛行実態や事故の把握、飛行エリア、損害賠償、プライバシー保護、他目的転用（犯罪、テロなど）などがあげられる。

また、巨大な配送倉庫内に無人ロボットを配置し、発注を受けた荷物のピッキングや搬送作業をロボットが行うシステムを構築することをAmazonは目指しており<sup>(36)</sup>、作業効率の向上や、人件費の削減の効果が期待されている。

高速道路を走行するトラックが前方車両を自動追尾して走行する自動走行システムがNEDO事業として行われ、ドライバーへの負担低減やCO<sub>2</sub>削減の効果が示された<sup>(37)</sup>。内閣府SIP「自動走行システム」では、ITSを活用し、2020年前半の自動車専用道路における準自動走行（レベル3）の実現を目指し、研究開発が進んでいる<sup>(38)</sup>。また経産省は、自動走行システムの社会実装に向けた高

度センサ開発や事業環境整備などを行う実証事業（スマートモビリティシステム研究開発・実証事業）を計画している<sup>(39)</sup>。米国では一部の州で商用の自動運転車の公道走行が認可されており、ダイムラーが自動運転の大型トレーラー「Freightliner Inspiration」の開発などを進めている<sup>(40)</sup>。

その他の技術として、重量物の持ち上げや運搬を補助するパワーアシストスーツなどの開発<sup>(41)</sup>なども現在行われている。

ラストワンマイルにおける物流業者の労働力を補うために、さまざまなサービスが実施されている。例えば、コンビニや駅などでの荷物受取りなどの配送を待つことから受取に行くことへの転換を促すサービスや、各戸口への宅配物配送を近所住民が代行するサービス（佐川急便<sup>(42)</sup>）、地域内をチーム単位で自転車や台車で配送するサービス（ヤマト運輸<sup>(43)</sup>）などがすでに実施されている。また、ネット注文された隣人の購入物を来客者が一緒に持ち帰ると割引きを行うサービス（Wal-mart<sup>(44)</sup>）や、一般市民が目的地に向かう際にその方角への送付物を“ついでに”運んでもらうサービス（Amazon<sup>(45)</sup>）などが検討されている。

無人化や自動運転などの導入がすすんでいくことにより、従来では存在しなかったような労働環境が生まれてくる可能性が考えられる。また、トラックドライバーの高齢化が進むなど、従来は負担の少なかった環境下であっても高齢者にとっては多大な負担となる労働条件が生まれる可能性がある。それらの環境が、人体（精神的、肉体的）や健康に及ぼす影響の研究が必要になってくることが考えられる。

### 3.2.3 共同配送の一層の促進

輸送コストの削減や輸送時のCO<sub>2</sub>削減、また交通渋滞削減のために、共同配送のさらなる進展が必要である。

同じ業界の中における競合会社による共同配送については、すでにいくつかの業界で実施されており、成果があがっている。

自動車業界では、完成車の輸送費用コスト削減や輸送時のCO<sub>2</sub>削減を目的として、同業他社間における共同輸送が90年代頃からすでに実施されている<sup>(46)</sup>。2009年には自動車工業会において自動車業界全体としての共同輸送が検討され、各社の物流ルートの洗い出しや輸送管理レベル、情報管理レベルの統合などに加え、実ルートでの共同配送の実証が行われた<sup>(47)</sup>。成果として、遠隔地工場（トヨタ東日本岩手工場）での6社共同輸送によるCO<sub>2</sub>削減（25トン/月の削減）や、海上輸送を他社共同輸送に委託して陸上輸送の効率化（本田-日産）などがあげられている。今後の推進課題として、共同輸送拡大に対する輸送元請会社の理解や各社間の輸送管理レベル差の克服、情報管理の統合（RFIDの活用）、各メーカーの物流要求スペック違いの解決などがあげられている。

また、飲料業界における共同利用・共同配送もうまく行っている事例である。国内における飲料容器はそのサイズが標準化されているものも多く、例えばビール瓶はメーカー間での共用がすでに進んでおり、これは再利用のしやすさにつながっている。また、ビールケースやパレット（物流に用いる荷物を載せるための荷役台）についても標準化されたビール瓶サイズに合わせたものが使用され、共同輸送や荷役の効率化に貢献している。JIS規格として標準パレットT11（サイズが1100mm×1100mm）が存在するが、ビールケースにとってはT11は最適では無く、ビール等飲料の荷役用として独自の、サイズが900mm×1100mmのビール専用パレット（ビール9型プラスチックパレット、以降Pパレ）が存在する。近年、Pパレの未回収や流出が増加し（2012年は約33万枚が未回収や流出）、物流コスト面での大きな負担となっている<sup>(48)</sup>。Pパレ回収率向上のために、2013年に関係各社間で共同法人（一般社団法人Pパレ共同使用会）が設立されている。バーコードやRFIDなどのICTを活用したパレット管理が進んでいる。

都市部における共同配送の事例として、東京都大手町・丸の内、有楽町地区（大丸有地区）があげられる<sup>(49)</sup>。地区内における交通渋滞の改善や地球温暖化対策、物流の効率化などのために、協議会が設置され、広域共同輸配送の実証が継続的に行われている。本事業では、周辺地域の既存物流施設を配送拠点として活用し、食品などの低温貨物の共同輸配送の拡大によって、大丸有地区内へ流入する貨物車両の削減や路上での荷捌きを原因とした交通混雑を改善することが期待されている。共同輸配送事業を実現するための大きな課題として、合意形成があげられている<sup>(50)</sup>。例えば、系列企業内での配送網がすでに構築されている大型チェーン店舗や、こだわり食材を産地直送するような飲食店には共同配送は馴染まない。また、共同配送で追加的に要する費用の負担者や負担割合、時間指定や急な注文への対応、既存ビルのオーナーが入居テナントへ共同配送を強制することが難しいことなど、課題があげられている。

さまざまなテナント間の合意形成問題を解決している例として、東京ミッドタウンにおける館内物流システムがあげられる<sup>(51)</sup>。大型複合施設内の物流を一元管理し、物流効率化や施設周辺の渋滞緩和の効果ももたらしている。施設事業者が施設機能の一つとして物流業務の重要性を理解し、施設計画段階から物流業者が参画して設計され、テナント側もその物流機能を含んだ形で入居していることが、うまくいった要因とされている。

## 4. ビジネス・ロジスティクスの研究開発を推進する上での障壁

前述の課題に取り組むことでビジネス・ロジスティクスの進展が期待されるが、そのためにアカデミアが研究開発を推進する上での障壁が大きいことが、外部有識者へのインタビュー（付録2参照）や我々の調査を通して明らかとなった。以下の4つの問題に整理した。

### 4.1 研究と現場の乖離

ロジスティクスに関わる代表的な公開されている統計データとして、貨物の出発点から到着点までの準流動を調べる全国貨物純流動調査（物流センサス）や、自動車、鉄道、船舶など輸送機関別の各種統計調査、また首都圏のみであるが交通における物の動きに着目した東京都市圏物資流動調査などがある（公開されている主な統計データについては付録3に掲載）。また、経済構造の把握のためには、産業連関表や民間調査会社（例えば、東京商工リサーチ、帝国バンクなど）の持つ企業間取引データなどを利用することが可能である。これらデータを利用することで、物流のおおよその全体像は把握することができる。しかしながら、アカデミア側が研究を行う上では、以下のような問題点があげられる。

まず、企業経営に関わるような、ビジネス上の秘匿に関わる部分のデータなどの多くの基本情報については、各企業が自社の利益最大化や顧客サービス向上を目的として取得しており、基本的には外部には出てこない。次に、各調査の単位は、輸送手段別や発着点単位、地域内流動、国内、国際などの空間的区分単位でしか存在せず、それを所管する国交省も道路局や鉄道局、港湾局など輸送手段で分割されている。国土交通省内には物流政策を取扱う組織（物流政策課）と専任審議官が設置され、横断的視点での物流政策の検討が行われているが、サプライチェーンまで含めて全体を扱うことは難しい。さらには各調査では、自家輸送利用などの一企業内部での物の動きや、BtoCの物流については見えてこない。また、公開されている各調査は、定期調査（月や年単位、物流センサスの場合は5年に一度）であるため、日々のリアルタイムな情報を収集、反映しているものではない。

本来、ビジネス・ロジスティクスは経済活動を目的としたものである。このため、良い手法や技術、理論であっても、最終的には現場に実装することが重要であり、「研究のための研究」では意味がない。したがって、研究者が現場の真のニーズや課題を理解する必要があり、研究者自らが現場経験を持ち、あるいは事業者と強く連携して研究を行わなくてはならない。

このため、民間の保有するさまざまな物資流動データの公開と利活用し、現場の真のニーズや現状、困りごとなどをリアルタイムで把握するなど、現場とのアクセスを強化する努力が必要である。そのためには、まず目指す社会のエコシステムのあるべき姿を描き、民間企業と社会的な公益性についてのビジョンを共有する必要がある。また、データ自体にビジネス上の価値があるので、研究者が社会的公益性のためにデータを利活用することの意義を示す必要がある。例えば、災害時における物資供給に備え、事業者を越えた物資情報を把握・識別できるシステムの研究開発などがあげられる。

その他、データ運用や機密管理、提供用データに加工する手間や必要コストを誰が負担するかなどを決めておく必要がある。

## 4.2 全体最適と局所最適のコンフリクト

物流は、荷主の要求に応じて物流業者が経済活動として行うものである。したがって、例えば「配送ルート最短化のために、荷主の荷物の到着時間を希望より勝手にずらす」というようなことはありえない。また、国土交通省と経済産業省が推進する「グリーン物流パートナーシップ」の成功には、CO<sub>2</sub>排出量削減という公益性のみでなく、補助金などの支援があることが大きい。ビジネス・ロジスティクスの主目的は企業最適であるが、そこでは利益追求だけでなくCSR（企業の社会的責任）もますます重要になってくる。全体最適と個人最適、公的利益と企業利益、社会最適とシステム最適、それぞれのコンフリクトを解決することが必要である。そのための評価手法や公正な判断基準の設定、インセンティブ制度設計も行う必要がある。

また、サプライチェーンの一部を効率化することが、全体としての効率化になっているかどうかにも注意が必要である。とりわけ、グローバルな単位でサプライチェーンを形成する場合においてはその視点は重要であり、実務を行う企業等との対話が重要となってくる。

共同配送や地域内物流連携などでは、研究や実証実験段階では上手くいっても、実装段階になると、各事業者間の利害が絡んでくる場合もある。また、物は対象品目ごとに形状容積、最適環境が異なり、また輸送過程で形態が変容していく場合も多い。物流対象とする物が異なるような、事業形態を超えた連携は難しい場合が多い。

## 4.3 慣習、規制、規格等の社会的障壁

取引業者の選択や港湾荷役業務の取り扱いなど、物流業界では古くからの慣習的な取引が残っている場合がまだまだ多い。ただし、慣習というと非効率なマイナス面のみの印象であるが、プラス面もあるはずであり、その見極めをしていくことも必要である。

また、新技術導入や海外取引拡大の際の障壁として、既存の法律や規制、国内外での規格の違いがあげられる。例えばドローン輸送や自動走行の社会への導入には、技術面の壁よりも制度面の壁が最終的に大きいことが推定される。また、国内外規格の違いの例として「コンテナ」の問題があげられる。国際貨物輸送に利用されるISO規格である20ftや40ft、45ftの「国際海上コンテナ」に対し、国内では独自規格である12ft5トンの「鉄道コンテナ」が多く利用されている。国際海上コンテナの規格に合わせた物流網を構築することで物流コストのさらなる低減が期待できるが、国際海上コンテナを輸送可能な鉄道網や道路整備などに要するコストなどを考えると、その構築は簡単でないと考えられる。投資の費用対効果をよく見極めた上で、国際標準化を推進するのか、独自規格で残すのかを判断することも必要と考えられる。

## 4.4 研究コミュニティの分散

ロジスティクスや物流は、社会的ニーズが高いとされる一方で、研究対象としてはあまり考えられてこなかった分野といえる。ロジスティクスは元々「兵站」というミリタリーから始まった研究分野であるため、特に戦後の日本では歴史的にタブー視されてきた影響が大きいことが考えられる。

また、国の施策や支援の面でも、「物流」として着目されるのは、6つの機能のうちの「輸送」であることが多く、その他の5機能については特に研究対象としてはあまり重要視されてこなかった。物流全体の中で、コストやエネルギー消費の面で輸送が大きいことは事実であるが、輸送のみを極限まで最適化しても、物流全体が最適化されるわけではない。例えば、高速道路におけるトラッ

ク輸送の自動運転化が実現しても、荷物の積み下ろしなどは人手で行い、また荷主の要求に合わせた発着スケジュール最適化は出来ない。

米国ではすでに大規模郊外型の小売形態からネット通販型に移行し、日本でもその流れは今後加速していくと予測される。さらには流通形態のオムニチャネル化など、物流貨物の小口・多頻度化が進み、物流に関するエネルギー消費や労働環境などの負荷は、今後増加していくと予測される。

ロジスティクスや物流の分野では、国やアカデミアが一つの企業や業界のために支援や共同研究を行うことは積極的には行われてこなかった。これは、物流やロジスティクスは企業の経済活動であるため、一つの企業内で基礎的な研究から実装までを一気通貫で行い、これまでは十分に企業経営が成立してきたためと考えられる。コスト低減を目指したさまざまな企業努力の積み重ねにより、海外と比べて、国内の物流に関してはすでにかなりの高効率化を達成しているといえる。しかし一企業や、ある一つの行程で達成できる効率化には限界がある。例えば生産工場が国内から海外に移転した場合、国内貨物輸送量が減るが、海外輸入による国際船舶等輸送量などは増加する。日本においても、産官連携型の研究開発プロジェクトの重要性がさらに高まってくると考えられる。

例えば欧州では、European Green Vehicles Initiative (EGVI) という産官連携組織 (PPP) があり、環境性能に優れ、高効率なエネルギー利用を目指した車両や輸送システムに関する研究開発を行っている<sup>(52)</sup>。PPPは民間主導のコンソーシアムであり、PPPが策定した戦略におおむね基づいて Horizon2020での公募が行われる仕組みになっている。ロードマップの中で、ロジスティクスに関して複数の移動手段を組み合わせてより効率的な輸送を行う“co-modality”やシティロジスティクスの推進などが示されている。また、米国では、ロジスティクス分野に関する産学共同研究が、日本に比べて活発に行われているとの意見もある。

最後に、国内における研究コミュニティや研究者数について、整理した結果を付録4に示した。ロジスティクスや物流に関連するコミュニティは、ディシプリンとしては経済や経理、土木分野に分散して存在している。それらを横断的に俯瞰できるコミュニティが必要である。また、各コミュニティにおいても、交通関連や人の移動に関する研究に比べて、物の移動に関する研究者は非常に少ない。例えば、土木計画学会の2014年秋と2015年春の研究発表会において、2回あわせて計770件の口頭報告があったが、このうち物流に関わる発表は全体のわずか5%しかなかった(図4-1)。研究者が少ない主な理由として、現場を知らないと真の課題が把握できず取り組みが難しいこと、産業界が研究の面でも進んでいること、データ入手が難しいこと、学術研究として取り組むべき課題が少ない(論文などの成果があげにくい)ことなどが考えられる。

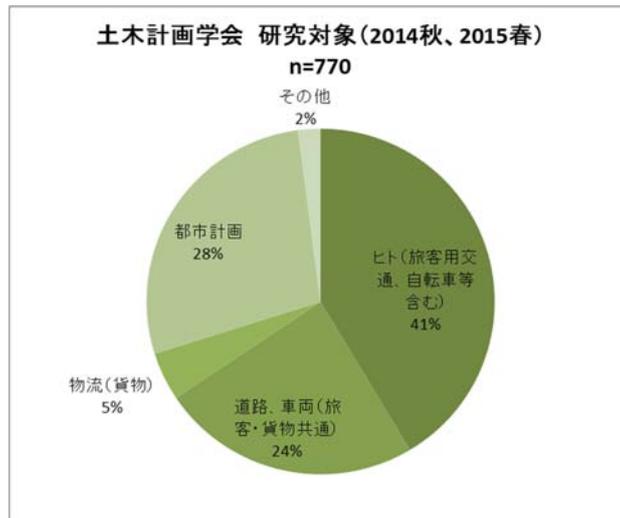


図4-1 土木計画学会研究発表会(2014秋、2015春)口頭発表の研究対象分類

(作成方法： 第51回(2014年秋)、第52回(2015年春)土木計画学研究発表会における口頭発表全770件について、研究対象を、人(旅客用交通、自転車等含む)、道路・車両、物流(貨物)、都市計画、その他、にCRDSにて分類。)

## 5. まとめと今後の展開

本報告書では、経済活動を目的とした物流に関する戦略や計画である「ビジネス・ロジスティクス」に焦点を当て、その国内における現状、及び科学技術の観点からの課題を示した。さらに、それらの課題に取り組むために解決しなければならない問題点について整理した。

ビジネス・ロジスティクスに関する社会的な課題は多い。従来の社会・経済構造を変革し、新たなエコシステム社会を実現するために、顧客と社会的便益を考慮した物流経済価値の定量化などの研究は必要であると考えられる。またその将来において、サイバー空間と現実世界を一体化したような「REALITY 2.0」と呼ばれる考え方が重要になってくる。これまでのような垂直統合型の自利益追求型の効率化から、業際的な連携が進み、新たなビジネス出現が期待される。ICTを高度活用し、新しいサプライチェーンとそのためのロジスティクスの研究開発を行うことが期待される。その一方で、現在の社会構造は多くのステークホルダーが関与しており、複雑な経済構造を形成しており、いきなり大きく変えることは容易ではない。現在の社会システムの延長線上に存在する課題に取り組んでいくことも引き続き重要である。しかしながら、そのための研究開発については、小売や総合通販、宅配などの流通・物流業や輸送・荷役機器の製造業、あるいはそれに関わる業種の企業が、自らの利益最大化のためにさまざまな技術開発や新しいサービスを提案し、その実装まで精力的に取り組んでいるのが実情である。特に、これまで構築されてきた複雑で多様なステークホルダーが絡み合う物流業界においては、アカデミアが先頭に立って牽引し、解決していける課題はそれほど多くはない。

アカデミアがビジネス・ロジスティクスの研究開発を推進する上での障壁として、社会的な問題が極めて大きいことがあげられる。具体的には、民間企業の保有するデータを利用することができないため、現場の実状や真のニーズが十分に解らず、結果として研究と現場が乖離し、社会実装に結びつかないといったことが考えられる。データ公開に対する理解やインセンティブ、現場視点が必要である。また、全体最適と個人最適のコンフリクトや、新技術導入時における規制や制度の壁、従来からの慣習的取引の壁などもあげられる。さらには、日本におけるロジスティクスは企業中心で研究から実装まで取り組まれてきており、研究コミュニティの規模が小さいことも障壁の一つとしてあげられる。

上記の社会的な障壁を乗り越え、アカデミアが研究開発を推進することは容易ではない。しかしながら、従来の社会経済構造を変革し新たなエコシステム社会を実現するためには、産官学の多様なステークホルダーが連携し、ビジョンを共有して研究から実装までの一貫した取組みを進める必要がある。「REALITY 2.0」のような世界を実現するために、アカデミアが果たすべき役割は大きい。一方、継続的なビジネスという観点から離れると、上記の社会的障壁が相対的に小さくなることも考えられる。例えば、災害等の非常時における物資の補給や備蓄に関するロジスティクスは、業界や慣習を超越した取組みが必要であり、アカデミアが牽引できる可能性のある分野だと考えられる。大災害時に被災者が自らの力で「生き抜く」ための物資補給や備蓄に対する戦略、すなわち「サバイバル・ロジスティクス（コラム2を参照）」に関して研究コミュニティとしても準備しておく必要があると考えられる。

## +++++ コラム2. サバイバル・ロジスティクスに対する期待

わが国は阪神大震災や東日本大震災など、多くの大災害を経験してきた。近い将来、マグニチュード7クラスの首都直下型地震が発生することが予測されており（30年の間に70%の発生確率）、その場合にはこれまでの経験以上の甚大な被害が懸念される<sup>(1)</sup>。

世界に目を向けると、70～80年代のアフリカでの数度にわたる干ばつや91年のバングラデシュのサイクロン、2000年代に入るとインドや中国、ハイチなどの大震災が数年単位で発生し、十万人単位の犠牲者が生まれた<sup>(2)</sup>。それ以外でも世界中のどこかでさまざまな自然災害が発生し、毎年数万人の犠牲者と、その数の何桁も多い被災者を生み出してきた。とりわけアジア地域における自然災害は頻発しており、その際の被災者は数千万人単位になる場合が度々ある。

内閣官房がまとめた指針においては<sup>(3)</sup>、災害時における物資供給の停止や不足、またさまざまなライフライン途絶は、絶対に起きてはならない最悪の事態としてあげられており、プログラム等による回避が強く求められている。このために政府は、基本的方針として「防災基本計画<sup>(4)</sup>」を策定し、物資供給についても民間能力の活用や災害時協力協定などを「支援物資物流システムの基本的な考え方<sup>(5)</sup>」によって制定し、さらにそれを踏まえた「災害に強い物流システムの構築<sup>(6)</sup>」（ともに国交省）の取り組みを継続的に行っている。

研究開発においては、ICTを活用して災害情報を共有し被害を最小限にするSIP「レジリエントな防災・減災機能の強化<sup>(7)</sup>」や、革新的な無人レスキューロボットを開発するImPACT「タフ・ロボティクス・チャレンジ<sup>(8)</sup>」、コミュニティや地域のつながりを強化して地域防災力を高めるための社会技術型研究であるJST-RISTEX「コミュニティがつなぐ安全・安心な都市・地域の創造<sup>(9)</sup>」などが、現在精力的に取り組まれている。

これらの様々な制度や対策、技術開発が、災害で発生する多くの被害を低減、あるいは防止することに疑う余地はなく、そのためにレジリエンスな情報通信網を構築していくことは重要である。しかしながら、予測しえない事態が発生するのが災害であり、「絶対に途絶しない情報通信網」の構築は簡単なものではない。また、大規模で広域に渡る災害の場合、想定していた支援体制やコミュニティも被災し、すべての被災地域への救援が迅速・確実に行われない場合も想定される。さらに災害救援ロボットなどの特殊用途を想定してロボットは、あるピンポイントでの投入には効果が期待できるが、大災害時において広範囲に多数を同時投入するにはコストや台数の限界がある。さらに、情報通信網や災害支援体制が十分整備されておらず、自然災害規模も大きなアジア地域では、被災規模も桁違いに大きくなる。したがって、ICTに頼らず、支援が来るまでの間、被災者自らの力で生き抜くための準備をしておくことが必要である。とりわけ、被災者が生き抜くための補給や備蓄の準備についてはまだ不十分である<sup>(10),(11)</sup>。

発災から数日経過して情報網やインフラが復旧して現地状況や把握できるようになった時期においては、現地ニーズに合わせて必要物資を送る「プル型」が良いが、発災直後で情報が途絶し、現地情報が不明で、人手も足りないような時期においては、必要と考えられる物資をとにかく送る「プッシュ型」の補給が人命を救う上で重要とされている。この「情報断絶」「人手不足」の時期において、多数の避難者が「生き抜き」、必要物資とライフライン（電気、水、石油）を迅速に「届ける」ために、日常的に利用する機器や環境を活用した、さまざまな機器やシステムの研究開発を行っておく必要がある。研究課題例として、発電器を持つ車両をシェルターとして利用するための研究開発や、エネルギーや水などライフラインのローリングストックに関わる研究開発、道無き道を少ない人手で走行可能な隊列型自動輸送システムなどが考えられるが、まだまだ多くの知恵やア

アイデアが必要である。また、災害対応の観点では機能やシステムには多重性が望まれるが、通常使用時には使用されずにムダとなる場合が多いことから、多重性と通常使用のトレードオフ関係を考慮した経済・社会モデルや理論などの研究も必要と考えられる、さらには現場との密な連携、中立でオープンな研究コミュニティの形成をしていくことが必要だと考えられる。

#### 【コラム2 参考文献】

- (1) 内閣府中央防災会議, 首都直下地震の被害想定と対策について(最終報告),  
[http://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/taisaku\\_wg/pdf/syuto\\_wg\\_report.pdf](http://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/taisaku_wg/pdf/syuto_wg_report.pdf), (2013. 9).
- (2) 内閣府, 平成27年度防災白書,  
[http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/pdf/H27\\_honbun\\_1-5bu.pdf](http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/pdf/H27_honbun_1-5bu.pdf), (2015).
- (3) 国土強靱化推進本部, 大規模自然災害等に対する脆弱性の評価の指針,  
[http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kokudo\\_kyoujinka/pdf/hyouka-honbun-h2512.pdf](http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kokudo_kyoujinka/pdf/hyouka-honbun-h2512.pdf),  
(2013. 12).
- (4) 内閣府, 防災基本計画,  
[http://www.bousai.go.jp/taisaku/keikaku/pdf/kihon\\_basic\\_plan150707.pdf](http://www.bousai.go.jp/taisaku/keikaku/pdf/kihon_basic_plan150707.pdf), (2015.7).
- (5) 国土交通省, 支援物資物流システムの基本的な考え方,  
<http://www.mlit.go.jp/common/000184634.pdf>, (2011.12).
- (6) 国土交通省ホームページ,  
[http://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/freight/seisakutokatsu\\_freight\\_tkl\\_000010.html](http://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/freight/seisakutokatsu_freight_tkl_000010.html).
- (7) JST, 戦略的イノベーション創造プログラム, <http://www.jst.go.jp/sip/k08.html>.
- (8) JST, 革新的研究開発推進プログラム, <http://www.jst.go.jp/impact/program07.html>.
- (9) JST-RISTEX, <http://www.ristex.jp/cr/index.html>.
- (10) 日本都市計画学会防災・復興問題特別委員会, 社会システム再編部会（第三部会）報告書,  
(2012.11).
- (11) 国土交通省, 第4回大都市戦略検討委員会資料3：苦瀬様提出資料,  
<http://www.mlit.go.jp/common/001088113.pdf>, (2015. 4).

+++++

## 参考文献

- (1) JST-CRDS, CRDS-FY2013-XR-05, 社会的期待と研究開発領域の邂逅に基づく「課題達成型」研究開発戦略の立案, (2013).
- (2) JST-CRDS, CRDS-FY2014-SP-01, 課題解決型研究開発の提言(1) 都市から構築するわが国の新たなエネルギー需給構造, (2014)
- (3) 齊藤, 矢野, 林, 物流論, 中央経済社, (2015).
- (4) 森, 苦瀬, 第25回土木計画学研究発表会・講演集, (2002).
- (5) 苦瀬博仁, 都市計画, 266号, p.5, (2007).
- (6) 国土交通省, 第48回基本政策部会第1回物流部会, 合同会議資料1, <http://www.mlit.go.jp/common/001089688.pdf>, (2015.4).
- (7) 公益社団法人ロジスティクスシステム協会(JILS), 2014年度物流コスト調査報告書, (2015).
- (8) 国土交通省, 第9回2010年調査物流センサス(全国貨物純流動調査の結果概要), <http://www.mlit.go.jp/common/000209693.pdf>, (2012).
- (9) 国土交通省, 平成25年度宅配便等取扱実績関係資料, <http://www.mlit.go.jp/common/001047891.pdf>, (2014).
- (10) 経済産業省, 平成26年度エネルギーに関する年次報告(エネルギー白書2015), <http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2015pdf/>, (2015).
- (11) 経済産業省, 総合資源エネルギー調査会省エネルギー・新エネルギー分科会省エネルギー小委員会, 取りまとめ 参考資料集, [http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/shoene\\_shinene/sho\\_ene/pdf/report\\_01\\_01\\_00.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/shoene_shinene/sho_ene/pdf/report_01_01_00.pdf), (2015.8).
- (12) 経済産業省, 総合資源エネルギー調査会省エネルギー・新エネルギー分科会省エネルギー小委員会, エネルギー小委員会取りまとめ, [http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/shoene\\_shinene/sho\\_ene/pdf/report\\_01\\_02.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/shoene_shinene/sho_ene/pdf/report_01_02.pdf), (2015.8).
- (13) 経済産業省, 総合資源エネルギー調査会長期エネルギー需給見通し小委員会, 長期エネルギー需給見通し, [http://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic\\_policy\\_subcommittee/mitoshi/pdf/report\\_01.pdf](http://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/pdf/report_01.pdf), (2015.7).
- (14) 経済産業省, 総合資源エネルギー調査会省エネルギー・新エネルギー分科会省エネルギー小委員会(第15回), 資料3 長期エネルギー需給見通しにおける省エネルギー対策及び省エネ量の推計方法, [http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/shoene\\_shinene/sho\\_ene/pdf/015\\_03\\_00.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/shoene_shinene/sho_ene/pdf/015_03_00.pdf), (2015.8).
- (15) 山田, 繁田, 今井, 谷口, 土木学会論文集D, Vol.66, 3, 359, (2010).
- (16) 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻ロジスティクスシステム工学講座ホームページ, <http://www.um.t.kyoto-u.ac.jp/ja/information/laboratory/LogisticsManagementSystem>.
- (17) 佐川急便ニュース, [http://www2.sagawa-exp.co.jp/newsrelease/detail/2014/1021\\_943.html](http://www2.sagawa-exp.co.jp/newsrelease/detail/2014/1021_943.html), (2014.10).
- (18) JST-RISTEX科学技術イノベーション政策のための科学研究開発プログラム「リソースロジ

ティクスの可視化に立脚したイノベーション戦略策定支援」

<http://www.resourcelogistics-for-stipolicy.com/ja/>.

(19) United Nations, Sustainable development knowledge platform, Sustainable consumption and production, <https://sustainabledevelopment.un.org/topics/sustainableconsumptionandproduction>.

(20) US 8615473 B2, Method and system for anticipatory package shipping.

(21) Audiプレスリリース,

<https://www.audiusa.com/newsroom/news/press-releases/2015/04/audi-dhl-and-amazon-deliver-convenience>, (2015. 4).

(22) JST-CRDS, CRDS-FY2015-XR-05, 情報科学技術がもたらす社会変革への展望－REALITY 2.0の世界のもたらす革新－, (2015).

(23) 豊田自動織機ホームページ,

[http://www.toyota-lf.com/products/detail/pilotless\\_forklift/index.html](http://www.toyota-lf.com/products/detail/pilotless_forklift/index.html)

(24) 明電舎ホームページ, <http://agv.meidensha.co.jp/top/index.html>

(25) JST, 科学技術振興機構報第700号, <http://www.jst.go.jp/pr/info/info700/>, (2009).

(26) ダイフクホームページ, <http://www.daifuku.com/jp/>.

(27) 豊田自動織機レポート2013,

<http://www.toyota-shokki.co.jp/ir/library/annual/2013/tir/p16-p20.pdf>, (2013).

(28) 三菱重工技報, Vol. 44, NO. 2, <https://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/442/442021.pdf>, (2007).

(29) 物流Weekly記事, <http://www.weekly-net.co.jp/logistics/post-10448.php>, (2014. 12).

(30) Amazonホームページ, <http://www.amazon.com/b?node=8037720011>.

(31) DHLニュースリリース,

[http://www.dhl.com/en/press/releases/releases\\_2014/group/dhl\\_parcelcopter\\_launches\\_initial\\_operations\\_for\\_research\\_purposes.html](http://www.dhl.com/en/press/releases/releases_2014/group/dhl_parcelcopter_launches_initial_operations_for_research_purposes.html), (2014.9).

(32) Google, Introducing Project Wing,

<https://www.youtube.com/watch?v=cRTNvWcx90o&feature=youtu.be>, (2014.8).

(33) Matternetホームページ, <https://mttr.net/>.

(34) 日本経済新聞記事, <http://www.nikkei.com/article/DGXMZ087816970Y5A600C1000000/>, (2015. 12).

(35) 総務省, ICTサービス安心・安全研究会近未来におけるICTサービスの諸課題展望セッション(第1回)東京大学鈴木真二氏資料, [http://www.soumu.go.jp/main\\_content/000364450.pdf](http://www.soumu.go.jp/main_content/000364450.pdf), (2015. 5).

(36) amazon roboticsホームページ, <https://www.amazonrobotics.com/#/>.

(37) NEDOホームページ, エネルギーITS推進事業, [http://www.nedo.go.jp/activities/FK\\_00023.html](http://www.nedo.go.jp/activities/FK_00023.html).

(38) 内閣府, SIP自動走行システム研究開発計画,

[http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/6\\_jidousoukou.pdf](http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/6_jidousoukou.pdf), (2015. 5).

(39) 経済産業省, 平成28年度資源・エネルギー関係概算要求の概要,

[http://www.meti.go.jp/main/yosangaisan/fy2016/pdf/02\\_2.pdf](http://www.meti.go.jp/main/yosangaisan/fy2016/pdf/02_2.pdf), (2015. 8).

(40) FREIGHTLINERホームページ, <http://www.freightlinerinspiration.com/>.

(41) ユーピーアールホームページ, <http://www.upr-net.co.jp/suit/index.html>.

(42) 佐川急便ホームページ, [http://www.sagawa-exp.co.jp/recruit/takuhai\\_mate/](http://www.sagawa-exp.co.jp/recruit/takuhai_mate/).

(43) ヤマト運輸ホームページ,

<http://www.kuronekoyamato.co.jp/recruit/fc/work/index.html>.

(44) ロイターニュース記事,

- <http://www.reuters.com/article/us-retail-walmart-delivery-idUSBRE92R03820130328>, (2013. 3).
- (45) ロイターニュース記事,  
<http://jp.reuters.com/article/amazon-com-delivery-idJPKBN00X02M20150617>, (2015. 6).
- (46) トヨタ自動車ホームページ,  
<https://www.toyota.co.jp/jpn/company/history/75years/index.html>.
- (47) 内閣府, 社会還元加速プロジェクト, 情報通信技術を用いた安全で効率的な道路交通システムの実現参考資料, <http://www8.cao.go.jp/cstp/sonota/its/its.html>, (2015. 5).
- (48) 一般社団法人Pパレ共同使用会ホームページ, <http://p-pallet.jp/index.html>.
- (49) 大丸有・神田地区等グリーン物流促進協議会ホームページ, <http://green.cool-biz.net/>.
- (50) 国土交通省, 第4回物流小委員会・第2回物流サービス小委員会合同会議説明資料,  
<http://www.mlit.go.jp/common/001094488.pdf>, (2015. 6).
- (51) 佐川急便ホームページ, <http://www.sagawa-exp.co.jp/goal/customercase/18/>.
- (52) European Green Vehicles Initiative (EGVI) ホームページ, <http://www.egvi.eu/>.

## 付録 1. 検討の経緯

JST研究開発戦略センター（CRDS）では、社会的期待と科学技術研究開発テーマとの「邂逅」に基づく、課題解決型研究開発戦略の立案方法の構築に取り組んでいる（CRDS-FY2013-XR-05, 2013年）。その活動の一つとして、活動の一つとして、エネルギーに関する課題解決型研究開発戦略、特にわが国の都市におけるエネルギー利用や消費の高効率化を課題とした研究開発の在り方について「都市から構築するわが国の新たなエネルギー需給構造」を提言した（CRDS-FY2014-SP-01, 2014年）。ここではその中で「都市部街路における自動車交通の効率化」がエネルギーの効率的利用に関わる重要な研究開発領域の一つとしてあげられている。

上記提言を受け、関連する交通分野の現状や課題に関する予備調査をCRDS環境・エネルギーユニット内の活動として実施した（2014年4月～2015年3月）。その調査においてご協力頂いた外部有識者を表S1-1に示す。

表S1-1 2014年予備調査にてインタビューにご協力頂いた外部有識者

実施日(2014年)	氏名 (敬称略)	所属 (インタビュー時点)
9月17日	大和裕幸	東京大学 大学院新領域創成科学研究科・副学長
9月24日	槌屋治紀	(株)システム技術研究所・所長
9月26日	谷口栄一	京都大学 大学院工学研究科・教授
10月1日	室田泰弘	(有)湘南エコノメトリクス・代表取締役
10月2日	永井正夫	一般財団法人日本自動車研究所・研究所長
10月6日	家田仁	東京大学 大学院工学系研究科・教授
10月17日	江端治朗	東京都 都市整備局 都市基盤部・物流調査担当課長
10月20日	白井肇	佐川急便(株) 営業開発部 営業開発課 ロジスティクス推進
10月29日	北岡広宣	トヨタ自動車(株) 技術統括部・主幹

なお、その調査内容の中で主だった項目を付録5に参考として掲載しておく。その結果、CRDSとして検討すべき研究開発課題の候補として以下の4つを抽出した。

- ・次世代タイヤと路面、最適道路構造
- ・ICT活用した物流・人流融合による解析・評価
- ・次世代車普及に必要なインフラ配置、ネットワーク
- ・社会変容に対応した交通システム

また、CRDS環境・エネルギー分野における俯瞰活動において、2013年～2014年はその俯瞰範囲を4区分（エネルギー供給、エネルギー利用、原子力、環境）に分けて調査、分析を行い、2015年に俯瞰報告書を発行した（CRDS-FY2015-FR-02, 2015年）。その俯瞰から抽出した重点研究開発領域の一つとして、「都市の人流・物流の効率化に向けたICTの活用とビッグデータの整備」が、エネルギー利用分野の有識者を中心とした「エネルギー利用専門会議」での議論を経て、選定された。

上記を元として、CRDSでは2015年6月に戦略プロポーザル検討チームを発足させた。文献調査や有識者へのインタビュー（付録2）、CRDS全上席フェローとの意見交換などの検討を重ねた。CRDS内におけるプロポーザル作成プロセスにおけるゲート&ステージ判断の結果、本内容は2015年12月に調査報告書として発行するに至った。

## 付録 2. インタビューにご協力いただいた外部有識者

本調査報告書を作成するにあたり、インタビューにご協力頂いた外部有識者を表S2-1に示す。

表S2-1 インタビューにご協力頂いた外部有識者

実施日 (2015年)	氏名 (敬称略)	所属・肩書 (インタビュー時点)	主な内容
6月25日、 9月17日、 10月16日	須田義大	東京大学 生産技術研究所・教授	機械・制御学視点からの物流課題
7月10日	大聖泰弘	早稲田大学 理工学術院・教授	自動車交通、プローブデータの公共利 活用
7月13日	安岡善文	情報・システム研究機構・監事	都市インフラ統合化システム
7月14日	大和裕幸	東京大学 大学院新領域創成科学研究科・副学 長	データ取得、オンデマンド交通
7月14日	柴崎亮介	東京大学 空間情報科学研究センター・教授	空間情報解析
7月17日、 9月24日	苦瀬博仁	流通経済大学 流通情報学部・教授	物流、ロジスティクス(災害、弱者)
8月6日	吉田秀範	東京大学 生産技術研究所・准教授	交通施策
8月11日	山下洋史	明治大学 商学部・教授	経営工学
8月19日	桑原雅夫	東北大学 情報科学研究科・教授	交通流制御、解析
8月27日	渡邊浩之	トヨタ自動車(株)・顧問	将来の交通社会
8月27日	川本雅之	トヨタ自動車(株)・技術統括部・主査	将来の交通社会
9月1日	森杉壽芳	日本大学 理工学部・客員教授	交通経済学、費用対便益評価
9月3日	稲村肇	東北工業大学 工学部・教授	交通経済学、災害時物流
9月7日	山田忠史	京都大学 大学院工学研究科・准教授	ロジスティクス・物流の数理モデル
9月10日	伊藤孝行	名古屋工業大学 大学院産業戦略工学専攻・ 教授	マルチエージェントシステム

### 付録 3. ビジネス・ロジスティクスや物流に関連する主な公表統計調査資料、データ

ビジネス・ロジスティクスや物流に関連する主な公表統計調査資料・データを表S3-1に示す。なお記載情報は、担当に記載の各省及び協議会のホームページ（2015年11月末時点）を参照した。

表S3-1 ビジネス・ロジスティクスや物流に関連する主な公表統計調査資料・データ（順不同）

	名称	目的	主な対象	主な調査事項	抽出、調査方法	時期	担当
統計・調査	全国貨物純流動調査（物流センサス）	「貨物の出発点から積み替えを経て到着点までの流動（純流動）」を把握するため、荷主企業など出荷側から貨物の動きを調査する、わが国で唯一、全国一斉に行われている調査。	民間事業者（鉱業、製造業、卸売業、倉庫業）	年間調査：品類別出荷・入荷重量、代表輸送機関割合、品類別輸出・輸入重量、出荷先都道府県割合など 3日間調査：出荷日、出荷品目、出荷重量、輸送機関、輸送経路、所要時間、輸送費用等	調査票（郵送、電子回答）による標本調査。 2010年は全国約61万事業所67千事業所を抽出、21千事業所よりデータ回収。	5年ごとに実施 （1970年開始で、第10回は2015年調査中）	国交省
	鉄道輸送統計調査	鉄道、軌道及び索道の輸送実態を明らかにし、我が国の経済政策及び交通政策等を策定するための基礎資料を作成する。	鉄道事業者及び軌道経営者	営業キロ、旅客及び貨物数量、旅客人キロ、貨物トンキロ、列車キロ、車両キロ及び収入等	郵送、オンラインシステム申請	毎月	国交省
	自動車輸送統計調査	国内で輸送活動を行う自動車を対象に、その輸送量・走行量等を把握することにより、自動車輸送の実態を明らかにし、我が国の経済政策及び交通政策等を策定するための基礎資料を作成する。	登録自動車、軽自動車	輸送回数、走行距離、輸送貨物の重量・品目、輸送人員等	地域毎に層別し、無作為抽出 郵送	毎月 対象により一定期間 （例：自家用貨物は7日間）、	国交省
	内航船舶輸送統計調査	内航に従事する船舶についての貨物輸送の実態を明らかにし、我が国の交通政策、経済政策を策定するための基礎資料を作成する。	内航運送をする事業者	貨物の品名及びその重量、輸送区間及び輸送距離、航海距離並びに燃料消費量等	郵送、オンラインシステム申請	毎月	国交省
	航空輸送統計調査	我が国の航空運送事業及び航空機使用事業の実態を明らかにし、我が国の経済政策及び交通政策等を策定するための基礎資料を作成する。	航空運送事業者及び航空機使用事業者	航空機稼働時間、燃料消費量、国内定期航空運送事業輸送実績、国際航空運送事業輸送実績に関連する事項	郵送、オンラインシステム申請	毎月	国交省

貨物地域流動調査	鉄道、自動車、海運及び航空の各輸送機関別に、調査年次における国内地域相互間の輸送状況を明らかにし、需要予測、施設整備計画立案等の基礎資料とする。	鉄道、海運、自動車	輸送トン数(品目別輸送機関別、府県相互間)	鉄道：日本貨物鉄道「地域流動データ」を集計、 海運：国交省「港湾統計」等を基準として利用 自動車：国交省「自動車輸送統計月報」を利用	毎年	国交省
倉庫事業経営状況調査	要倉庫業者の財務・経営・原価等の実態を把握・分析することにより、倉庫業における企業経営の指針を明らかにするとともに、倉庫業の健全な発展と経営の合理化に資するため。	倉庫事業者	収支状況(営業収益・費用・収支率、経常収益・費用・収支率)、主要原価、 入在庫量、企業情報など	規模別に任意抽出	毎年	国交省
自動車燃料消費量調査	自動車の燃料消費量等の実態を明らかにし、我が国の地球温暖化対策及び交通政策等を策定するための基礎資料を作成する。	登録自動車、軽自動車	自動車の主な用途、休車日数、調査期間中の燃料消費量及び走行キロ等	地域別、業態別、車種別、使用燃料別に層分けし、無作為抽出  郵送、オンラインサイト	毎月調査	国交省
トラック輸送情報	トラックによる輸送量の増減及びその原因並びにトラック輸送を通じてみた景気の動向などを迅速に把握する。	トラック事業者	特別積合せトラック分) 輸送トン数、稼働日数、宅配便取扱個数、輸送品目別の増減状況、など 一般貨物トラック分) 車両数、延実働車両数、輸送トン数、輸送量の増減状況、など	特別積合せ事業者) 全数調査 一般貨物事業者、特定貨物事業者) 各運輸支局管内の事業者数及び輸送品目に応じて事業者を指定  郵送、オンライン申請システム	毎月	国交省
全国輸出入コンテナ貨物流動調査	際海上コンテナ貨物の流動を把握することにより、効率的な物流体系を構築するための港湾政策の企画立案、港湾整備計画の検討等に活用する。	国際海上コンテナ貨物	(輸出)国内の生産地から海外の仕向国までの流動実態 (輸入)海外の原産国から国内の消費地までの流動実態	調査期間1ヶ月の間に通関申告が行われる海上コンテナ貨物全量	5年ごと	国交省

	東京都市圏 物資流動調 査	交通の主体の一つである「物」に着目し、主にその動きとそれに関連する貨物自動車の動きを把握する。	製造業、 運輸・通 信業、卸 売業、小 売業・飲 食店、 サービス 業の事業 者	事業所数、発生物流量(トン/日)・貨物車台数(台/日)、集中物流量(トン/日)・貨物車台数(台/日)、地域間物流量(トン/日)、貨物車台数(台/日)、地域別釜生者一台当たり輸送トン数、など	東京都市圏の製造業、運輸・通信業、卸売業、小売業・飲食店、サービス業より約14万事業所を抽出(5回時)  調査票配布し、約4.4万事業所から回収	第5回を平成27年実施  約10年ごとに実施(昭和47年度、昭和57年度、平成6年度、平成15年度)	東京都市圏 交通計 画協 議 会
	産業連関表	作成対象年次における我が国の経済構造を総体的に明らかにするとともに、経済波及効果分析や各種経済指標の基準改定を行うための基礎資料を提供する。	国内における経済活動	国内経済において一定期間(通常1年間)に行われた財・サービスの産業間取引を一つの行列(マトリクス)に示した統計表。	郵送又はオンライン申請システム	5年ごとに実施。 最新は2011年対象年。	総務省 など
	経済センサ ス-活動調 査	我が国の全産業分野における事業所及び企業の経済活動の実態を全国及び地域別に明らかにするとともに、事業所及び企業を調査対象とする各種統計調査の精度向上に資する母集団情報を得る。	事業所及び企業	地域別産業別の企業数、売上高、付加価値額、事業者数、従業者数	調査員調査(ヒアリング)、直轄調査(郵送、インターネット)	平成24年実施、次回は平成28年予定	総務省、 経産省
提 供 情 報	貨物自動車 運送事業者 数、車両数	-	-	規模別、年次推移、運輸局・支局別の業種別(特積、一般、霊柩、特定)事業者数、車両数	-	毎年更新	国 交 省
	宅配便取扱 個数(宅配 便、メール 便)	-	宅配便運 賃又は メール便 運賃を届 け出してい る各事業 者	取り扱い個数、メール便取り扱い冊数	任意報告	毎年更新	国 交 省

## 付録 4. ビジネス・ロジスティクスや物流の研究に関連するコミュニティ

### ●学会、研究分野、研究者数

国内において、物流やロジスティクスを研究対象としている主な学会について整理した結果を表S4-1に示す。なお、学術領域の分類については、日本学術振興会科学研究費助成事業（科研費）の系・分野分類、及び学会名鑑ホームページの学術研究領域分類を参考にした。物流やロジスティクスに関わる研究を行う学会は、経済学（海運系や流通）や経営学、機械工学、土木計画学、都市計画、及び統計や地理情報学などの研究領域に存在している。

表S4-1 ロジスティクスや物流を研究対象とする、あるいは関連する主な学会（順不同）

系	学術領域	名称	設立年	総会員数
人文 社会 系	経済学	日本海運経済学会	1966年	約210名
		日本流通学会	1987年	約360名
	経営学	日本物流学会	1983年	約510名
		一般社団法人 日本ロジスティクスシステム学会	1998年	約260名
理工 系	機械工学	一般社団法人 日本機械学会	1897年	約36,000名
		交通・物流部門	1991年	-
		公益社団法人 自動車技術会	1947年	約49,000名
	土木工学	公益社団法人 土木学会	1914年	約41,000名
		土木計画学研究委員会	1966年	-
		一般社団法人 交通工学研究会	1966年	約2,000名
	土木工学・建築学	公益社団法人 日本都市計画学会	1951年	約5,700名
	総合 工学	公益社団法人 日本航海学会	1948年	約870名
物流研究会		-	-	
一般社団法人 日本鉄道技術協会		1947年	約5,100名	
総合 系	情報学	一般社団法人 日本統計学会	1931年	約1,500名
		一般社団法人 地理情報システム学会	1991年	約1,300名
		公益社団法人 日本オペレーションズ・リサーチ学会	1957年	約2,000名

出所) 各学会のホームページと公開情報を元にCRDSにて作成。会員数は各学会の公開する最新情報を元にしたため、基準年月はそれぞれ異なる。

次に、科学技術振興機構にて運用・公開されている研究開発データベースサービスJ-GLOBALを用い、ロジスティクスや物流に関わる研究者が、どの研究分野にどの程度の人数存在するのかについて調べた。今回の調査方法では、まずJ-GLOBALの研究者の情報を利用し、「ロジスティクス」「物流」「サプライチェーン、またはサプライチェーン」「交通」の4つをキーワードとしてそれぞれ検索を行い、研究者を抽出した。次に、それぞれのキーワードで抽出された研究者が所属する人数の

多い研究分野上位10つを選定し、その人数を調べた。調査結果を整理して表S4-2に示す。ただし、データベースでは複数の研究分野の登録が可能であるが、研究分野間やキーワード間で重複している研究者については特に重複排除はしていない。また、データベース上の情報未登録や情報が長期間未更新の研究者も散見されていたので、実際の研究者はこれより多いものと推定される。表S4-2より、わが国における研究者総数約24万人のうち、交通に関連する研究者は5000人以上いる一方で、物流は1071人、ロジスティクスは259人である。また、交通に関連する研究者が多い研究分野としては、土木計画・交通工学や都市計画、社会システム工学、経済政策などであった一方で、物流やロジスティクスの研究者は、経営学や商学、社会システム工学、土木計画・交通工学の研究分野に多く、サプライチェーンに関する研究者も同様であった。

表S4-2 ロジスティクス・物流に関連する研究者数と所属する研究分野(順不同)

研究分野	参考)全研究者数	検索キーワードで抽出された人数 (枠内網掛け箇所は、キーワード毎に人数の多い上位10つまで)				
		ロジスティクス	物流	サプライチェーン/サプライチェーン・マネジメント	交通	
全分野(分野指定なし)	約24万名	259	1,071	261	5,160	
人文学系	経済政策	2,440	19	69	10	202
	応用経済学	901	12	27	3	68
	経営学	3,142	63	103	68	120
	商学	1,088	37	117	39	101
	会計学	1,250	6	16	15	22
理工系	数学一般(含確率論・統計数学)	1,114	8	3	4	21
	生産工学・加工学	1,041	12	27	16	20
	機械力学・制御	1,148	1	65	1	108
	知能機械学・機械システム	1,478	5	60	7	108
	構造工学・地震工学・維持管理工学	705	0	0	2	117
	土木計画学・交通工学	695	20	95	8	695
	土木環境システム	761	1	21	4	148
	都市計画・建築計画	1,698	3	24	5	360
総合系	船舶海洋工学	461	3	33	2	70
	情報学基礎	1,968	6	8	10	64
	知能情報学	2,232	6	32	14	123
	地理学	911	0	13	0	136
	図書館情報学・人文社会情報学	1,473	10	24	12	64
	社会システム工学・安全システム	1,414	72	123	68	267
	システム工学	822	13	21	10	87
環境影響評価・環境政策	2,073	6	29	11	136	

出所) J-GLOBAL (提供: 科学技術振興機構) を元にCRDSにて作成 (2015年12月7日アクセス)

●大学、高等専門学校

国内において、ロジスティクスや物流を研究対象としている組織や研究者をかかえる主な大学や高専を表S4-3に掲載する。また、大学以外の物流に関する主な研究機関としては、国立研究開発法人海上技術安全研究所や国土交通省国土技術政策総合研究所など、民間では（株）日通総合研究所などがあげられる。今回の調査は、大学や研究室ホームページ等の公開情報や科研費データベースでのキーワード検索、学会等での報告事例等を元に、CRDSにて整理して行った。したがって、本表以外にも実際に研究を行っている、あるいは本表内でも現在は研究を行っていない大学・高専がいる可能性がある点には留意する必要がある。

表S4-3 ロジスティクスや物流を研究対象する組織・研究者を持つ主な大学、高専（順不同）

系	大学・高専	大学院・研究科・専攻、学部・学科
人文社会系	流通経済大学	大学院物流情報学研究科、流通情報学部
	一橋大学	大学院商学研究科
	明治大学	商学部
	日本大学	商学部
	専修大学	商学部マーケティング学科
	関西大学	商学部商学科
	北海商科大学	商学部
	近畿大学	経営学部商学科
	法政大学	経営学部
	東京理科大学	経営学部経営学科
	城西国際大学	経営情報学部総合経営学科
	東京経済大学	経営学部
	愛知学院大学	経営学部
	大阪産業大学	経営学部流通学科
	目白大学	大学院経営学研究科経営学専攻
	豊橋創造大学	経営学部
	成城大学	社会イノベーション学部政策イノベーション学科
	九州国際大学	大学院 企業政策研究科
	和歌山大学	経済学部市場環境学科
	九州大学	大学院経済学研究院産業マネジメント部門
東京大学	大学院経済学研究科	
神奈川大学	経済学部経済学科	
理工系	京都大学	大学院工学研究科都市社会工学専攻
	東京海洋大学	大学院海洋科学技術研究科海運ロジスティクス専攻、海洋工学部流通情報工学科
	東海大学	海洋学部航海学科
	神戸大学	大学院海事科学研究科、海事科学部
	広島商船高等専門学校	流通情報工学科
	東京工業大学	大学院理工学研究科国際開発工学専攻
	慶應義塾大学	大学院理工学研究科開放環境科学専攻

	早稲田大学	創造理工学部社会環境工学科
	長岡技術科学大学	機械系創造設計・生産工学
	早稲田大学	創造理工学部総合機械学科
	東京理科大学	工学部機械工学科
	東京工業大学	大学院社会理工学研究科経営工学専攻
	早稲田大学	総合理工学部経営システム工学科
	日本大学	生産工学部マネジメント工学科
	名古屋工業大学	大学院 社会工学専攻
総合系	電気通信大学	大学院情報理工学研究科総合情報学専攻
	上智大学	大学院理工学研究科情報学領域
	筑波大学	大学院システム情報工学研究科社会システム・マネジメント専攻
	東京大学	大学院情報理工学系研究科数理情報学専攻

●非営利目的法人

物流やロジスティクスに関連する産業振興や発展を主な目的とし、調査や分析等を行う非営利目的の社団法人や組織が存在しており、代表的な社団法人・組織を表S4-4に掲載する。記載情報については、各法人のホームページ（2015年11月末時点）を参照した。

表S4-4 ロジスティクスや物流を調査研究対象とする主な非営利法人（順不同）

名称	目的 (出所:各法人ホームページ、定款より)	設立年
公益社団法人 日本ロジスティクスシステム協会(JILS)	本会は、経済活動において、物資流通の円滑化を実現するため、調達、生産、販売、回収を同期化するとともに、輸送、保管、包装、荷役、流通加工、情報等を総合的にマネジメントする機能(以下「ロジスティクス」という。)に関する調査及び研究、企画の立案及び推進、人材の育成及び指導等を行うことにより、ロジスティクスの生産性を高めるとともに外部不経済の克服等社会との調和を図り、もって我が国産業の発展と国民生活の向上及び国際社会への貢献に寄与することを目的とする。	1992年
日本ロジスティクス研究会 (JLRS)	日本ロジスティクス研究会では、会員の相互研究ならびに会員の物流に関する知識と技術の向上を図ると共に、関連諸機関と連携し、物流の合理化を推進することを目的としています。	1993年
一般社団法人 日本物流団体連合会 (JFFI)	当法人は、物流業界が広く結束し、物流業に係る横断的課題について施策を確立し、これを推進すること等により物流業の健全な発達に資することを目的とする。	1991年
グリーン物流パートナー シップ会議	本会議は、物流分野のCO2排出削減に向けた自主的な取り組みの拡大に向けて、業種業態の域を超えて互いに協働していこうとする高い目的意識のもと、荷主企業(発荷主・着荷主)と物流事業者が広く連携していくことを促進すべく運営するものです。	2004年
一般財団法人 運輸政策研究機構(ITPS)	この法人は、交通運輸に関する総合的な研究及び調査を実施し、交通運輸全般にわたる政策の評価及び提言を行い、もって交通運輸に関する政策の策定に資するとともに、国民生活の質的向上、魅力ある地域社会の創出、産業経済の発展及び国際的な共生の推進に貢献することを目的とする。	2012年 (元組織は 1968年)
公益社団法人 日本交通政策研究会	交通政策(道路政策を含む)に関し学際的・総合的な調査・研究を行い、交通政策の発展に寄与するとともに、わが国の交通政策に対する国民の理解を促進することを目的とする。	1971年

公益社団法人 全日本トラック協会(JTA)	この法人は、貨物自動車運送事業の適正な運営及び公正な競争を確保する事によって、事業の健全な発達を促進し、もって公共の福祉に寄与するとともに、事業の社会的、経済的地位の向上及び会員相互の連絡協調の緊密化を図る事を目的とする。	1954年
公益社団法人 全国通運連盟	この法人は、鉄道に係る第二種貨物鉄道利用運送事業(通運事業)の健全な発達を図り、もって公共の福祉の増進に寄与することを目的とする。	1952年
一般社団法人 日本倉庫協会	一般社団法人日本倉庫協会は、倉庫業の健全な発達を図り、もって公共の福祉に寄与することを目的とする。	1948年
日本マテリアル・ハンドリング(MH)協会(JMHS)	日本MH協会は、生産及び流通の現場における各種の技術革新の中で、特にマテリアル・ハンドリング(MH)理論の適用による効果の検証と、さらにその管理・運用技術の発展並びに会員相互の交流による一層の進歩・発展を目的とする。	1956年
公益社団法人 日本包装技術協会(JPI)	【目的】本会は、広く包装に関する知識及び技術の普及推進に努め、生産、流通及び消費の分野における合理化を図ると共に、包装に係わる人材の資質向上に努め、もって我が国経済の発展、国民の社会生活の向上及び国際社会への貢献等、我が国の公益増進に寄与することを目的とする。	1963年
公益財団法人 交通エコロジー・モビリティ財団	【目的】高齢者及び障害者等のより一層円滑なモビリティを実現するための啓発広報、情報提供及び調査研究並びに施設の整備、保有、貸し付け及び施設整備等に対するその他の支援を行うとともに、地球的規模の課題である環境問題の解決、地域の国際交流等を推進するための事業及びそれに関する支援を行うことにより、人及び地球にやさしい社会環境を実現して行くことを目的とします。	1994年
一般社団法人 国際フレイトフォワードーズ協会(JIFFA)	本協会は、利用運送による国際貨物輸送及びこれに関連する事業(以下「国際フレイトフォワードイング事業」という。)の健全な育成及び会員相互の利益と地位の向上を図り、もって国際物流の発展に寄与することを目的とする。	1985年
一般社団法人 日本サプライチェーンマネジメント(SCM)協会	本会は、広く一般市民に対し、サプライチェーンシステムについての調査、研究、情報の共有と提供を行い、経済活動の活性化を目的とし、その目的とする。	2014年
一般社団法人 日本物流システム機器協会(JIMA)	本会は、物流システム機器業界が抱える共通の課題を解決するため、行政、他団体との効率的な連携及び国際交流の推進を図り、もって物流システム機器業界の世界的発展と地位向上に寄与することを目的とする。	2008年
公益社団法人 鉄道貨物協会	我が国の貨物輸送の分野について、物資の安定供給及び地球環境負荷(輸送量当りのCO2排出量)の観点から、輸送方法の研究及び研究成果の普及啓発活動を行い、以って国民の生活に不可欠な物資の安定供給及び地球環境の保全に資することを目的とする。	2011年 (元組織は1950年)
一般社団法人 航空貨物運送協会	本協会は 航空運送に係る貨物利用運送事業及び貨物の運送に係る航空運送代理店業その他航空運送に係る貨物利用運送事業に関連する事業(以下「航空運送に係る貨物利用運送事業等」という。)の健全な発達を図るための調査研究、指導等を行い、これら事業の発展を通じて航空貨物輸送の円滑な提供を確保し、もって利用者の保護及びその利便の増進に寄与することを目的とする。	1991年

## 付録 5. 2014 年度予備調査における主な調査内容

検討の経緯（付録1）にて記載のように、本報告書は、2014年の予備調査における検討を経て、発行に至っている。その予備調査において調査した内容の中で、特に今後、エネルギーと交通、都市と関連する検討を行う際に参考となる内容について、以下に示す。

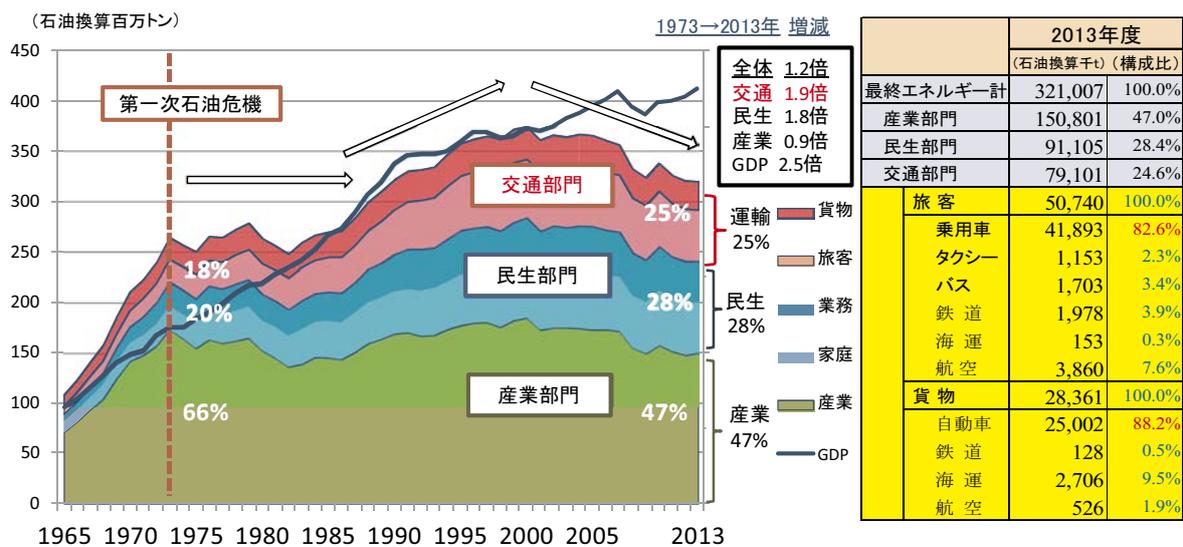
### ●交通に関するエネルギー消費のマクロ視点からの概況

交通に関するエネルギー消費の動向・特性についてマクロ的な視点から概観する。

#### (a) 我が国の交通部門エネルギー消費の現状<sup>(1)</sup>

我が国の最終エネルギー消費は（図S5-1）、1970年代の2度の石油危機を契機に、企業努力と政策効果も相まって産業部門を中心に省エネルギーが急速に進展し、しばらくは全体のエネルギー消費量を増やすことなく経済成長を達成してきた。しかし、1980年代後半から2000年頃までは、低位な原油価格と省エネルギーの一巡により、産業部門が横ばいで推移する中、国民生活に密着した交通部門・民生部門のエネルギー消費の増加により、経済成長と同程度のテンポで最終エネルギー消費は増加を続けた。ところが、2000年代に入ると、経済の成熟化・停滞、人口の減少、高齢化の進展、機器保有の飽和等々の社会・経済構造変化の進行に加え、トップランナー制度に代表される運輸・民生部門を対象とした省エネルギー政策の効果が徐々に顕在化し、最終エネルギー消費は減少傾向に転じている。

部門別のエネルギー消費の長期的な変化をみると（1973年～2013年）、GDPが2.5倍の増加する一方、エネルギー消費は産業が0.9倍（40年前より少ない）、民生1.8倍、交通は1.9倍（うち旅客2.3倍、貨物1.3倍）となり、エネルギー消費構造は産業中心から国民生活型への転換が進んだ。現状の消費構成をラフに表現すれば、最終エネルギー消費の半分が産業(47%)、残り半分が民生と交通（28%、25%）となっており、気候条件の違いなどを除けば、すでに我が国は欧米型の消費構造になったといえる。



(出所) 日本エネルギー経済研究所 「エネルギー経済統計要覧」を基に作成

図S5-1 最終エネルギー消費と交通部門エネルギー(文献(1)を元に作成)

(b) 輸送需要と交通用エネルギー消費<sup>(1)</sup>

交通部門は、大別して「人の移動に関わる旅客部門」と「物資の輸送に関わる貨物部門」に分けられ、輸送需要を表す単位として旅客では「人・キロ」、貨物では「トン・キロ」が通常用いられる。輸送機関別には自動車、鉄道、船舶、航空に分けられ、各機関別の輸送量あたりのエネルギー消費量を消費原単位として定義すると、交通用エネルギー消費量は、輸送需要、機関分担率、消費原単位の積和として以下のように定義式で表すことができる。

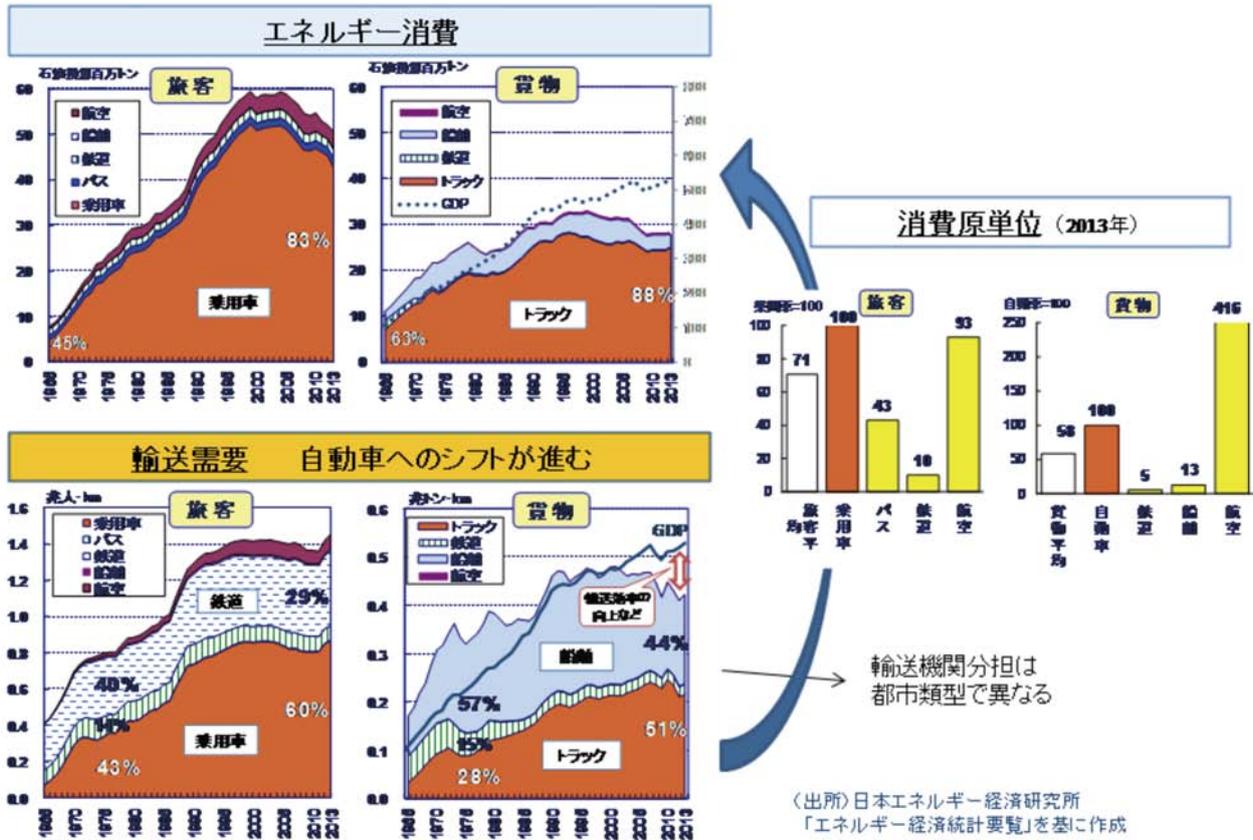
$$\text{交通用エネルギー消費} = \sum (\text{輸送需要} \cdot \text{機関分担率}_i) \cdot \text{消費原単位}_i$$

図S5-2は輸送需要と交通用エネルギー消費の推移を示したもののだが、輸送需要はモータリゼーションの進展、産業構造の変化、サービスニーズの多様化などより、旅客輸送、貨物輸送とも自動車輸送（乗用車、トラック）のシェアが増大し、現状では乗用車は旅客輸送の6割、トラックは貨物輸送の5割程度を担っている。一方、エネルギー消費量では、自動車は鉄道や船舶などの大量輸送機関に比べ消費原単位が大きいため（つまり効率が悪い）全体の8～9割近くを占めている。

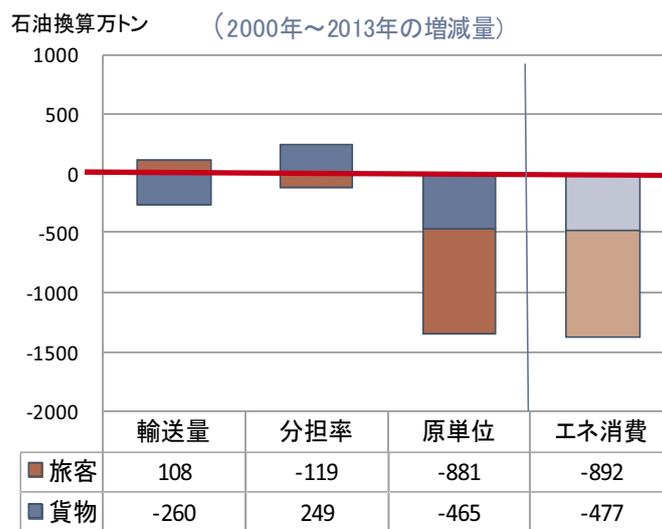
上記の定義式から、エネルギー消費の変化量は、輸送量の変化に基づく「輸送需要要因」、輸送手段の構成の変化に基づく「分担率要因」、エネルギー消費原単位変化に基づく「原単位要因」に分解することができる。

図S5-3は2000年から2013年までのエネルギー消費の変化量を要因分解したものである。この間、エネルギー消費は1370万トンの減少を示したが、自動車燃費の向上による「原単位要因」の寄与が圧倒的に大きい。一方、この間に輸送量はほとんど増加していないため輸送量変化の要因寄与は極めて小さくなっているが、これに関しては別の評価をすることもできる。

図S5-2の貨物輸送に見るように、1990年代後半から、経済成長（GDP）と貨物輸送需要の乖離が顕著である。これはGDPが増加する中、「輸送効率の向上」により輸送量が減少傾向を示したため、前記の要因分析では直接評価されないものの、これは貨物輸送（トラック）の省エネルギーに大きく貢献していると言える。（ラフに計算すると400万トン、トラック用エネルギー消費の15%程度の省エネに相当）



図S5-2 輸送需要と交通用エネルギー消費 (文献(1)を元に作成)



(出所)「エネルギー経済統計要覧」を基に作成

図S5-3 エネルギー消費増減の要因分解 (文献(1)を元に作成)

### (c) 交通エネルギー消費の決定要因と省エネルギー対策<sup>(1),(2)</sup>

交通用エネルギーの8割以上は自動車が占めており、今後の省エネルギー対策も自動車次第と言っても過言ではない。なかでも、旅客用エネルギーは全体の2/3を占め、輸送手段別には乗用車83%、タクシー2%、バス3%、鉄道4%、航空8%で、地域交通の観点から航空、広域鉄道を除くと、乗用車が地域での旅客エネルギー消費の9割以上を占めている。

そこで、旅客乗用車のエネルギー消費量の決定要因を例にとり、省エネルギー対策の観点から各要因について整理してみる。

図S5-4は自動車（乗用車）燃料消費の決定要因を定義式として表し、各要因の時系列推移、地域特性、省エネルギー対策を示したものである。

例えば、2012年についてみると乗用車のガソリン消費量は4,800万KLあるが、その決定要因の内訳は保有台数6,000万台、1台当たりの走行キロは9,000km/年、保有の平均燃費（10-15モード）は15.3km/L、実燃費と10-15モードの乖離は0.73で、これらを掛け合わせると消費量(4800万KL)となる。

(2012年度消費量：4800万KL=6000万台 x 9000km/ (15.3km/l) /0.73)

燃料消費量の推移をみると、2000年頃までは一貫して増加を示したが、2005年頃の5100万KLをピークに減少傾向にある。今後も、社会構造変化に加え運輸に関する様々な省エネルギー対策の効果も期待されこの減少傾向は変わらないと考えられる。

自動車輸送の省エネルギー対策は大別して、交通需要の管理（自動車輸送の低減や代替）、自動車本体の燃料改善、走行時の燃費向上の3つに分けることができる。各対策の具体的な対応例と、上記の燃料消費を決定する各要因との関連を概観すると以下のとおり。

#### a) 自動車輸送の低減や代替

<主な方策>

- ・モーダルシフト（LRT、BRT）
- ・オンデマンド交通
- ・輸送・移動の不要化（テレワークの促進など）

乗用車保有台数（自家用）や台当たり走行距離の削減とも結びつけられるが、地域構造によって状況は大きく異なる。一般に都市部に比べ、ルーラルエリアほど代替手段が限られているため自動車保有率も台当たり走行距離も大きい。

#### b) 自動車本体の燃費改善

<主な方策>

- ・エンジンの効率向上
- ・車両重量の軽量化
- ・空気抵抗の低減
- ・次世代自動車の普及（HV、PHV、EV、FCV、CDV）
- ・政策：トップランナー、エコカー減税等

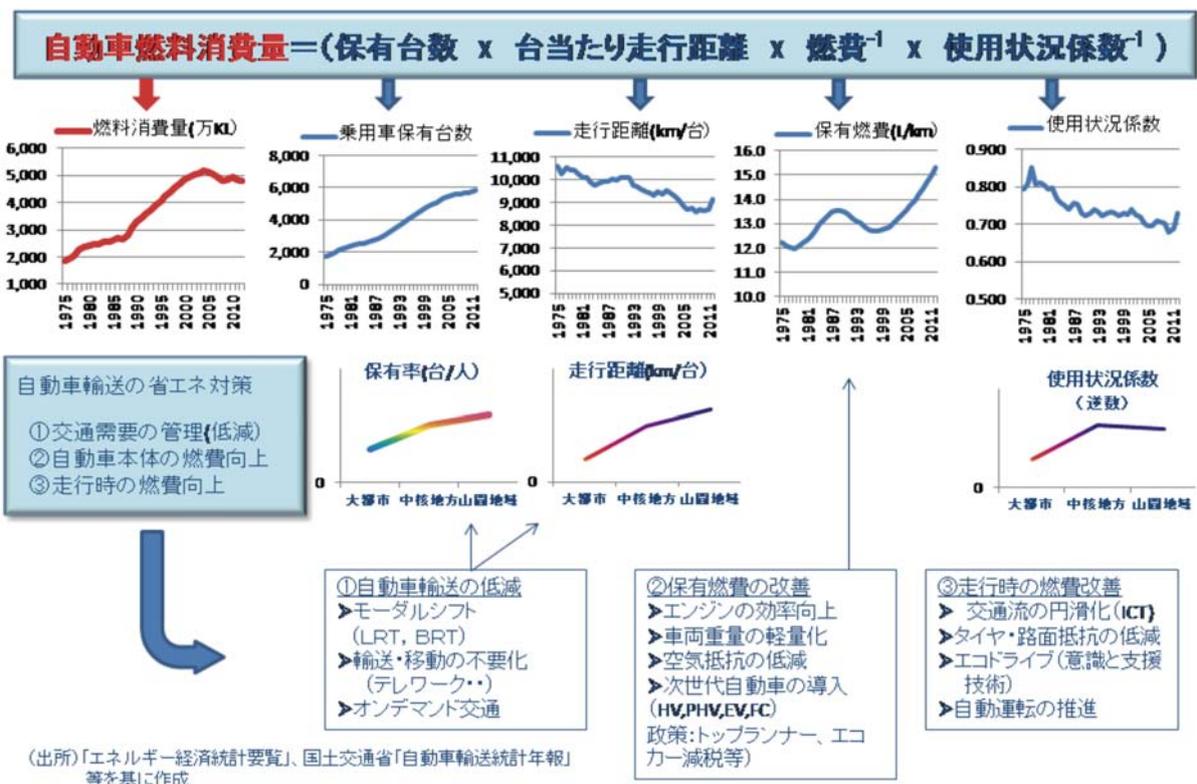
これまでの、交通部門の省エネルギーの大部分は自動車本体の燃費改善による。今後も最も重要な対策であり、燃費改善に関するさらなる技術開発と次世代自動車の普及促進が鍵を握っている。また、高齢化等の社会構造変化に伴い、高効率で安全性の高い小型パーソナルモビリティの開発・普及も重要であろう。（傾向として車のダウンサイジングの次世代自動車の普及が進んでいくと考えられるが、都市類型によって車種選択は異なる。）

c) 走行時の燃費向上

<主な方策>

- ・交通流の円滑化 (ICT)
- ・タイヤ・路面抵抗の低減
- ・エコドライブ (意識と支援技術)
- ・自動運転の推進

ここで示した使用状況係数は、モード (カタログ) 燃費と実燃費の乖離を示したもの (つまり、モード燃費で走行した場合に消費するであろう量と、実際の燃料消費量との比で図った指標) で、道路の渋滞状況や運転方法によっても大きく影響される。一般に都市部に比べ交通流の円滑な地方都市では状況係数は大きい (実燃費が良い)。今後は、情報通信技術 (ICT) を活用し、人と道路と車両を一体のシステムとして構築する高度道路交通システム (ITS) のさらなる発展等による交通流の円滑化、道路交通の一層の安全向上への期待が大きい。



図S5-4 自動車燃料消費の決定要因 (旅客自家用乗用車の例)  
(文献(1)(2)等を元で作成)

(d) 我が国の交通用エネルギー消費の将来展望<sup>(3),(4)</sup>

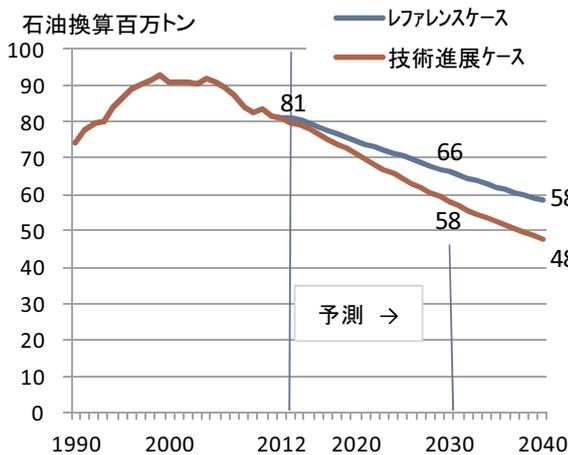
我が国の交通用エネルギー消費は2000年頃までの増加傾向から、2000年以降は減少に転じている。ここでは今後20～30年先まで（2030年、2040年）の我が国の交通用エネルギー消費を展望する。

図S5-5は我が国交通用エネルギー消費の見通しに関して、「日本エネルギー経済研究所の見通し」と現在まだ検討途中である「政府の需給見通し（2015年2月）」を示したものである。なお、政府見通しは総合エネルギー調査会・長期需給見通し小委員会で議論中であり、ここでの数値は第3回会合配付資料から作成した精査中数値のものであるが、今後の方向を見る上では大いに参考になる。

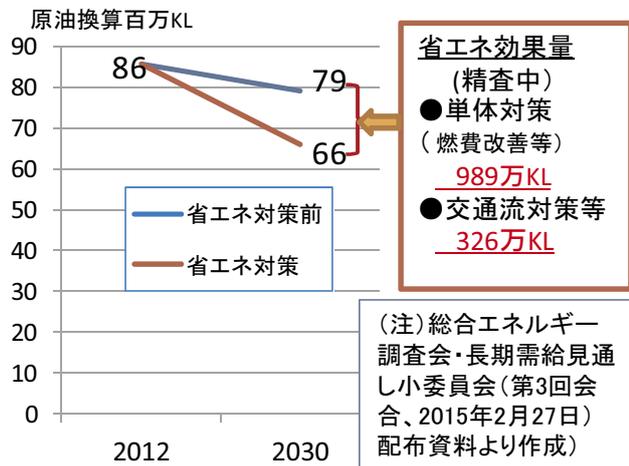
エネ研、政府とも、技術の進展度合いや省エネルギー対策の折り込みに応じてレファレンスケースと省エネ対策ケース（エネ研は技術進展ケース）の2つのケースを展開しているが、将来ありうる（あるべき）姿としては後者のケースであろう。

これを見ると、エネ研、政府見通しとも、今後の交通用エネルギーは減少傾向が継続し、2030年には現状に比べ20%～30%の大幅な減少となる。政府見通しでは交通部門の省エネルギー対策として2030年時点で約1300万KLの省エネルギー対策量を見込んでいるが（2015年3月時点で精査中）、うち3/4は自動車の単体対策（燃費の改善）で、次世代自動車の普及とトップランナー基準の強化等によるさらなる燃費改善である。残り1/4は交通流対策によるもので公共交通機関の利用促進、モーダルシフト、エコドライブの推進、自動運転の推進、トラック輸送の効率化等である。エネ研技術進展ケースの削減量の大部分も次世代自動車の導入加速を考慮したいわゆる広義の燃費改善によるものである。（なお、前提となる輸送需要は、旅客輸送は微減、貨物は経済成長率（2013年まで平均1.7%）に応じて緩やかに増加と想定している。）

日本エネルギー経済研究所見通し



参考：政府需給見通し(精査中)\_(注)



日本の今後の交通用エネルギー消費は大きく減少  
 ★ 2030年 2012年比20%～30%減  
 ★ 2040年 2012年比30%～40%減

日本の今後の交通用エネルギー消費は大きく減少  
 ★ 各種の省エネ対策により  
 2030年 2012年比23%程度減 (精査中データ)

(注) 原油換算百万KL = 石油換算百万トン / 0.925

(出所) 日本エネルギー経済研究所「アジア・世界エネルギーアウトック2014」2014年10月

総合エネルギー調査会・長期需給見通し小委員会(第3回会合、2015年2月27日) 配布資料

図S5-5 我が国の交通用エネルギー消費の見通し  
 (文献(3)(4)を元に作成)

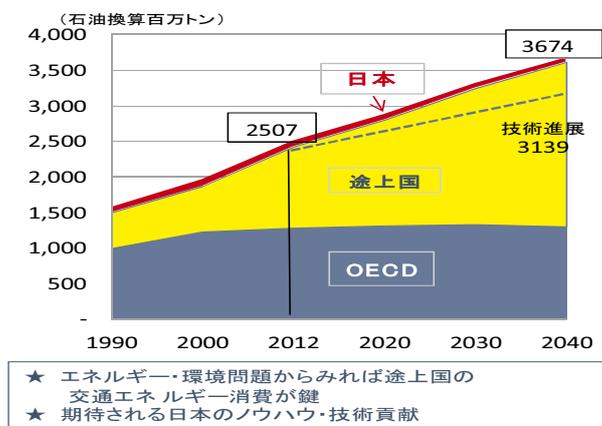
(e) 世界の交通用エネルギー消費の将来展望と日本の役割<sup>(3)</sup>

今後、我が国の交通用エネルギーは減少していくと見られるが、世界に目を転じれば、途上国の高い経済成長に伴うモータリゼーションの進展により「世界の交通用エネルギー消費」は大幅な増加が見込まれる。

図S5-6は2040年までの世界の交通用エネルギー消費の展望を示したものである<sup>(3)</sup>。世界の交通用エネルギー消費は2012年の25億1千万トン(石油換算)から2040年には36億7千万トンと1.5倍に増大する。この中で、先進国(OECD)は今後ほぼ横ばいで推移するが、途上国は経済成長に伴うモータリゼーションの進展により消費量は大きく増加し、今後の世界の交通用エネルギー増分のほぼ全量を途上国が占めることになる。2040年までの増加量は11億7千万トン(原油約2,400万B/D)で、これは世界最大の産油国サウジアラビアの生産量の2倍強に匹敵する量である。なお、自動車燃費の大幅な向上等を見込んだ技術進展ケースにおいては、2040年において15%程度の省エネルギーが見込まれるが、現在からの大幅な増加傾向に変わりはない。

モータリゼーションの進展に加え、途上国においては都市化の進展による慢性的な交通渋滞、大気汚染等の弊害が深刻化しており、ハード、ソフト両面からの交通対策が益々重要な課題となっているが、解決には先進国からのノウハウや技術的な支援が不可欠であり、この面での日本の役割は大きい。

世界の交通用エネルギー消費で日本の占める比率は僅かで、グローバルなエネルギー・環境問題からみれば我が国の国内対策の効果は限定的である。今後の「交通分野に関する種々技術開発」に関しては海外展開の視点も極めて重要である。(パッケージ輸出)



図S5-6 世界の交通用エネルギー消費の展望<sup>(3)</sup>

## (f) 地域別の交通用エネルギー消費データについて

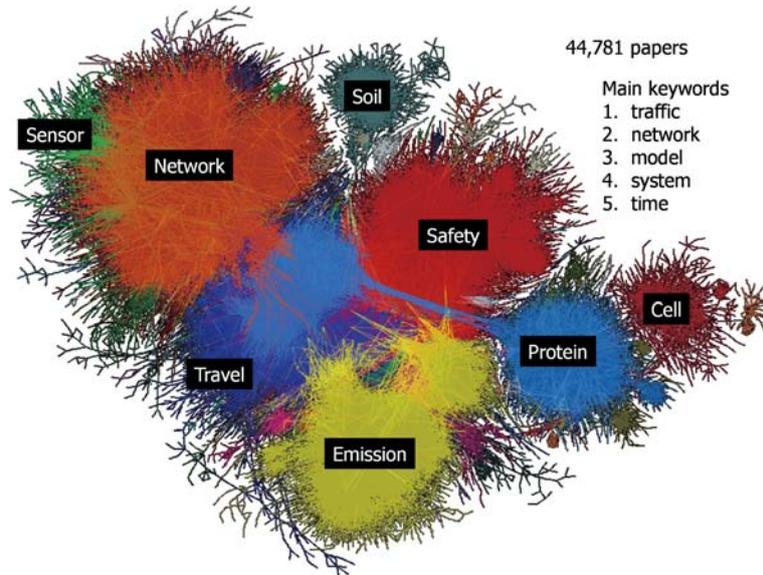
現状、地域別とりわけ市町村別の体系的なエネルギー消費データは皆無である。消費実態の把握のためには各種統計から推計せざるを得ないが、とりわけ産業用や家庭用に比べ、交通消費を行政区分単位でとらえるのは極めて難しい。例えば、家庭用であれば消費側の統計である「家計調査」や販売側の電力販売やガス販売の統計からそのまま、あるいは人口比案等の方法で比較の実態に近いデータの推計が可能である。一方、交通用は旅客、貨物輸送とも域内・域外・広域移動から派生するエネルギー消費であり、市町村という行政区分での交通用エネルギー消費(輸送量、輸送機関分担含めて)を把握するのは困難である(家計調査のガソリン消費量、乗用車保有や人口からの案分等である程度のラフな推計は可能)。いずれにしても、必要データの利用目的に応じて、様々な関連データを参照・加工するなど、推計を工夫せざるを得ないのが実情である。

## ●交通に関する研究トレンドの計量書誌分析

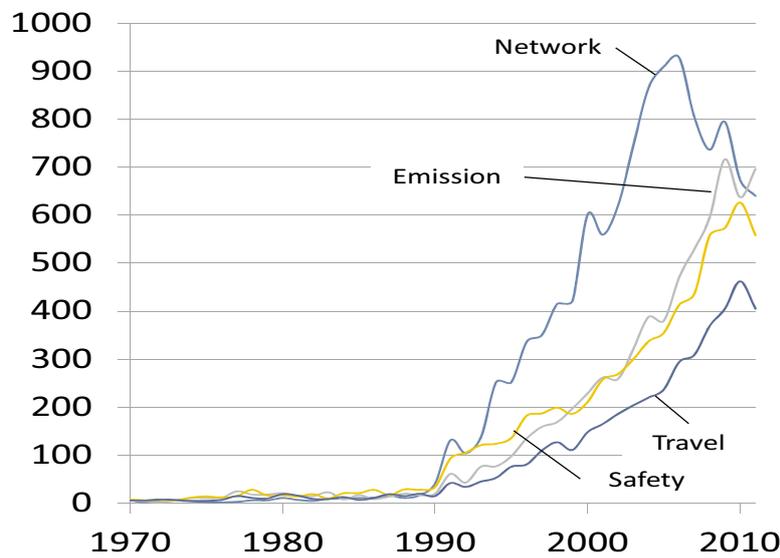
交通に関する研究トレンドを機械的に解析するために、計量書誌分析を行った。ここでいう計量書誌分析とは、対象とする学問分野において密な関係を持つような小分野の塊（クラスター）を形成、可視化させる分析手法を指している。例えば、既存の持続可能性に関連する体系化の試み<sup>(5)</sup>や、その評価手法を分析した事例<sup>(6)</sup>がある。本調査における計量書誌分析には学術俯瞰システム<sup>(7)</sup>を用いた。学術俯瞰システムにおいて行われる分析手順を下記する。分析対象となる論文については、まず、学術文献データベースのWeb of Science<sup>(8)</sup>においてtrafficという単語をタイトルもしくは要旨に含む論文に対し、テキストマイニングとネットワーク分析による論文間の引用関係の解析<sup>(9)</sup>を行った。具体的には、まずネットワーク分析として、論文の引用関係に基づいて引用ネットワークを構築する。得られた引用ネットワークに対して、引用が密な論文のグループをクラスタとして抽出するためのクラスタリング処理を行う。さらに、クラスタ中における論文の中心性を特定するために、論文の入次数(被引用数)に基づき重要度付けを行う。次にテキストマイニングとして、当該クラスタ内の論文群には頻出するが、他のクラスタの論文群にはあまり出現しない用語を、当該クラスタのキーワードとする。結果として、1988年から2012年までの論文44,781件の学術論文が含まれるネットワークが抽出された。引用ネットワークに含まれる論文が多いほど、ノードが大きくなるが、小規模のものも含めると294のクラスタが形成された。研究分野のクラスタをそのクラスタを表現する代表的なキーワードとともに図S5-7に示す。また、各クラスタの論文数の推移を図S5-8に示す。なお、“traffic”をキーワードとして含む研究の中には、血管における血液の流路や細胞内物質の挙動に関連するもの、さらには土壌等の生態系の中での物質移動に関するものもふくまれており、図S5-8の中にもProteinやCell、Soilといったクラスタも含まれている。

交通関連の研究クラスタとして最も大きいものはNetworkを共通するキーワードとするものである。交通量等をコンピュータによりシミュレーションしながら予測し道路インフラや都市設計につなげていく研究が多く存在している。件数として最も多く、11,496件の論文で構成されているが、図S5-8にも示す通り、すでに論文出版数のピークはすぎているようにもみえるクラスタである。次に多いのは6,803件で構成されているEmissionクラスタである。交通における排気ガスとしては、温室効果ガスに加え、硫黄酸化物や窒素酸化物などといった、大気汚染源になるようなものも含まれている。特に都市部では道路交通が原因となり大気汚染が顕在化するリスクがあり、排気ガスの浄化や公共交通機関の強化など、対策が検討されている。また、騒音も一つの排出物として取り扱われており、騒音による健康被害に関する研究も多くなされてきている。現在、出版数が伸びている分野といえ、研究分野としても環境学的な評価・分析から、触媒の開発、社会システムとしての交通の設計など、幅広く関連しているクラスタである。交通に関連するクラスタとして3番目に大きなものは6,629件で構成されているSafetyクラスタである。言うまでもなく、交通において重要な観点の一つであり、交通関連事故の発生に関する統計的な解析から、睡眠のメカニズムからみた事故の発生原因解析に関する研究、精神状態との関連性、道路インフラの設計との関連性など、様々な観点からの研究が含まれている。次に大きなクラスタは4,364件で構成されているTravelクラスタである。Networkとも関連性が強い研究分野ともいえるが、このクラスタにおいては、Travelの出発地点から目的地までの距離を解析する手法や、最短経路の設計、将来の交通量の分析などに応用される交通量配分モデルなど、各種ツールや方法論の開発が多く含まれているクラスタである。少し規模が小さくなるが、次に大きなクラスタは859件で構成されているSensorクラスタである。ここでは、車体に各種センサを組み込むことにより、交通関連統計の収集やドライバーのサポートなどを行うため技術・システムの開発が含まれている。他のクラスタと比べて規模は小さいが、クラスタに含ま

れる論文の平均年が2007年であり、また年間10本以上の論文が出版されはじめたのも2000年頃であり、他のクラスタの平均年2002年～2004年と比べても若く、現在研究開発の勢いが増してきている分野と考えることができる。



図S5-7 “traffic”を含む学術論文の計量書誌分析結果



図S5-8 “traffic”を含む学術論文の引用ネットワークに基づくクラスタと出版論文数の推移

### ●研究開発分野の科学技術的課題の整理

運輸分野の研究開発動向を把握し、CRDSとして検討すべき科学技術的課題を抽出するために、現在実施されている（または近年実施された）研究開発の分類を行った。

表S5-1は、研究開発の対象として「人」「物」「人・物共通」の3分類と、その下に大項目・中項目・小項目を設定したうえで、研究開発の分類を行い、その中から検討すべき科学技術的課題の一例を抽出したものである。なお、具体的な研究開発は、現在及び今後の科学技術的課題を把握する目的から、現在行われている、または、終了後間もない競争的資金による研究開発を対象とし、且つ基礎的な研究開発フェーズを含むものとして、2010年以降に行われた科学研究費補助金<sup>(10)</sup>、およびJSTの研究開発事業<sup>(11)</sup>を中心に検討の対象とした。よって、交通に関連する全ての研究開発は網羅していない。また、本調査では都市における交通を対象としていることから、主に自動車について検討し、船舶や航空機等については対象外とした。さらに、研究開発の抽出では、科学技術的課題の有無や、国として取り組む必要性の観点、日本の都市における波及効果を考慮した。

各項目で共通する事項として、マイクロ（例：車両やセンサ）とマクロ（例：都市）における研究開発は多数存在するが、それらをつなぐメソ（例：ICTやシミュレーション）の視点が重要であることがあげられる。また、本分野では現行の研究開発が個々に進められている傾向があり、全体を把握したうえで最適なものを選択し構成する観点からの研究開発が求められていると思われる。よって、表S5-1のような分野による整理ではなく、今後は研究開発のデザイン・設計の視点での整理が必要であることも明らかとなった。

表S5-1 研究開発分野の分類と科学技術的課題の整理

対象	大項目	中項目	小項目	科学技術的課題の一例
人	交通モード	公共交通	各種公共交通の運行管理・最適化と情報提供	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プローブによる観測とデータ処理・活用</li> <li>・交通モード選択を考慮したマルチモーダル交通流シミュレーション</li> <li>・交通容量、交通需要および移動時間の不確実性の解消</li> <li>・マルチモードでの経路探索と情報提供</li> </ul>
			LRT/BRT	<ul style="list-style-type: none"> <li>・LRT導入が都市構造の集約化に及ぼす影響</li> <li>・LRT事業の成立要件の定量的評価</li> <li>・シミュレーションモデルの作成</li> </ul>
			最先端交通システム	<ul style="list-style-type: none"> <li>・最先端技術を利用した公共交通システムの検討</li> </ul>
		個別交通	小型パーソナルモビリティ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・安全性（センシング・操縦アシスト・周辺移動体との連携）</li> <li>・知能化（周辺情報収集・分析、自律移動）</li> <li>・省エネ・低環境負荷</li> <li>・高齢者・障害者の利用</li> <li>・都市側の対応（道路環境・駐車スペース）</li> </ul>
			カーシェアリング	<ul style="list-style-type: none"> <li>・需要予測</li> <li>・システム構成</li> </ul>
			オンデマンド	<ul style="list-style-type: none"> <li>・需要予測・利用ログ解析</li> <li>・運行計画生成アルゴリズムを核としたシステム開発</li> </ul>
		交通モードの接続	パークアンドライド	<ul style="list-style-type: none"> <li>・適用可能性や公共交通シフト効果の把握</li> </ul>
			トランジットモール	<ul style="list-style-type: none"> <li>・最適な規模・構造の検討</li> <li>・交通管理</li> <li>・交通影響評価</li> </ul>
		物	物流	物流の効率化
次世代物流	無人機宅配			<ul style="list-style-type: none"> <li>・ドローン型物流システムの開発</li> </ul>

人・物 共通	車両	自動車	タイヤ、路面	<ul style="list-style-type: none"> <li>・転がり抵抗低減</li> <li>・低燃費舗装</li> <li>・表面処理技術の応用による路面の高性能化</li> </ul>
			車体	<ul style="list-style-type: none"> <li>・軽量化</li> <li>・高遮熱ボディ</li> <li>・空気抵抗低減</li> </ul>
			エンジン効率	<ul style="list-style-type: none"> <li>・燃焼技術</li> <li>・潤滑・低フリクション</li> <li>・熱損失低減</li> </ul>
			駆動系等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・トランスミッション等の機械効率向上</li> <li>・潤滑、低フリクション</li> </ul>
			電動車両 (HV、PHV、EV)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高効率電気システム (作動電圧の高電圧化、高密度実装)</li> <li>・高効率モータ (効率向上、低コスト化、軽量化)</li> <li>・大容量蓄電池</li> <li>・蓄電池システムの低コスト化、劣化低減技術</li> <li>・超高速充電</li> <li>・高効率ハイブリッド車両・システム</li> </ul>
			燃料電池車両	<ul style="list-style-type: none"> <li>・低コスト水素タンク、スタック</li> </ul>
			高度運転支援 (車両単体)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ドライブレコーダを用いた運転の特徴分析とシステムへの反映</li> <li>・蓄積型データ管理システムとストリーム型データ管理システムの融合</li> <li>・高齢者・障害者の利用</li> </ul>
	鉄道	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>・統合的省エネルギー化</li> <li>・超伝導技術の導入検討</li> </ul>	
	ICT	ITS	車両間・車群最適制御	<ul style="list-style-type: none"> <li>・危険検知・通知</li> <li>・渋滞予測と回避、プローブ情報活用</li> <li>・通信の高信頼化、高精度化</li> <li>・ネットワーク全体の性能向上</li> <li>・効率的な情報共有方式の確立</li> </ul>
			交通情報収集・配信	<ul style="list-style-type: none"> <li>・交通流のセンシング・モニタリング</li> <li>・情報の効率的収集とプライバシー保護</li> <li>・行動ログデータを用いた解析</li> <li>・行動モデル、シミュレーション、交通マネジメントシステム</li> <li>・情報提供システム</li> </ul>
			高度交通管制	<ul style="list-style-type: none"> <li>・交通データのマイニング</li> <li>・交通現象の診断モデル</li> <li>・交通流シミュレーション</li> <li>・信号制御、道路設計、デマンドレスポンス (柔軟な料金体系、道路課金) による渋滞の解消</li> </ul>
			インフラとの協調	<ul style="list-style-type: none"> <li>・認識・通信手法の評価とその複合化による信頼性向上</li> <li>・ITSスポットサービス (ETC2.0サービス)、DSSS (Driving Safety Support Systems) などの活用</li> </ul>
		交通需要マネジメント	技術的手法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・需要予測モデルとシミュレーション</li> <li>・情報提供による交通流改善</li> <li>・観測に基づく管理</li> </ul> ※参考：小項目「交通情報収集・配信」「高度交通管制」
			経済的手法 (ロードプライシング)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・課税・課金による混雑・渋滞緩和・環境改善</li> </ul>
ビッグデータ活用		収集	<ul style="list-style-type: none"> <li>・情報の統合的管理のためのデータベースプラットフォーム構築</li> </ul> ※参考：小項目「交通情報収集・配信」	
		解析	<ul style="list-style-type: none"> <li>・短時間での最短経路探索</li> </ul> ※参考：小項目「交通情報収集・配信」「高度交通管制」	
		配信	<ul style="list-style-type: none"> <li>・見える化、エコドライブ支援、コベネフィット等</li> <li>・情報提供システム</li> </ul> ※参考：小項目「各種公共交通の運行管理・最適化と情報提供」「交通情報収集・配信」	

インフラ	車両と電力網の接続	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 車載蓄電池のHEMS、CEMS組み込み</li> <li>・ 需給バランス予測と充放電制御</li> </ul>
	充電・水素充填施設	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 施設最適配置</li> <li>・ 急速充電</li> <li>・ ワイヤレス給電</li> <li>・ 低コスト・簡易設置型水素供給ステーション</li> <li>・ 水素貯蔵</li> </ul>
	都市構造	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ コンパクトシティ（集約型都市構造）</li> <li>・ 交通と土地利用の関連</li> <li>・ 交通需要変動を考慮した道路計画</li> <li>・ 道路ネットワーク設計の最適化</li> </ul>

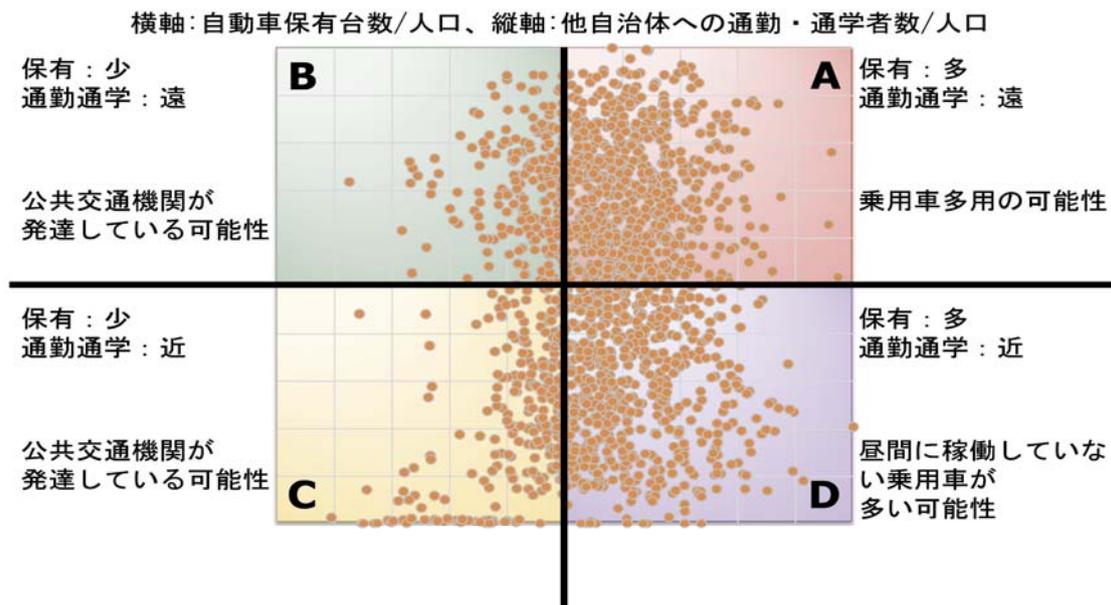
### ●都市の類型化と交通に関わる課題との関係

国内の約1,700強の市区町村統計データを用いて、各自治体における現在の交通関連の状態を把握し、さらに、将来的に効果的な導入を検討しうる技術を推定することに役立てるための、都市の地域特性に合わせた類型化を試みた。データは公開されている統計データ（例えば文献(12)）を中心に用いた。

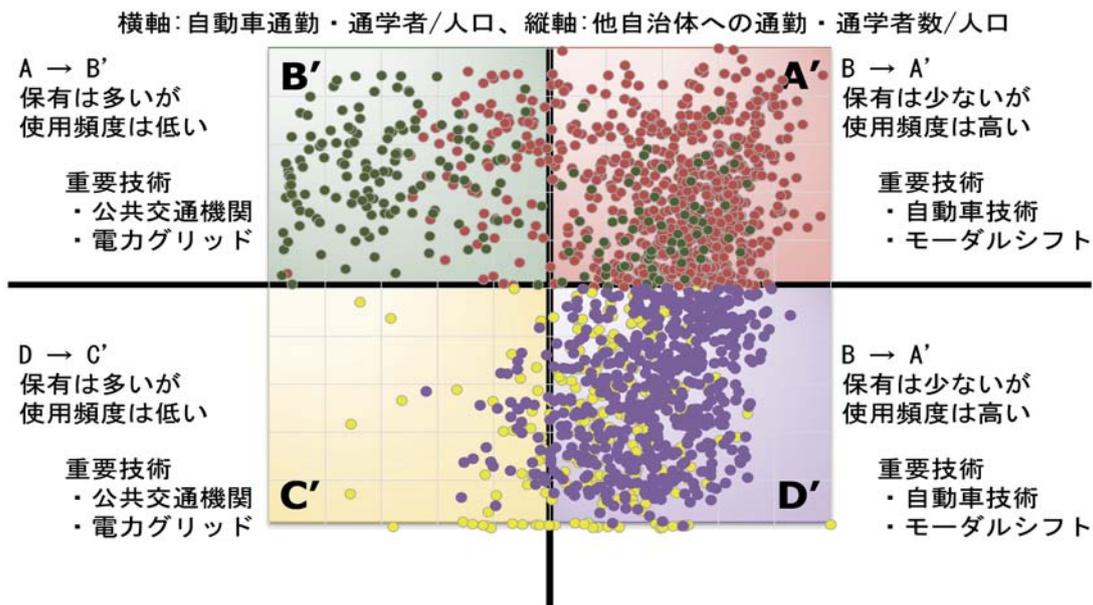
まず、交通に関連する統計データから、市区町村をグループ分けすることを考えた。ここでは、市区町村を可能な限り4等分することを目的に、相関の低い統計データの組み合わせを用いて、市区町村をマッピングする。図S5-9に例として、人口当たりの自動車保有台数と人口あたりの他自治体への通勤・通学者数をそれぞれ横軸、縦軸にとったときの自治体マップを示す。なお、いずれの軸においても、当該統計データの最大値による正規化を行っている。点が一つの市区町村を示している。以下、図S5-9上でグラフを4つの象限、A～Dに分割して議論する。象限Aでは通勤通学が遠距離である可能性が高く、保有台数が多いことから、自動車を利用している可能性が高い市区町村が割り振られているグループと考えることができる。同様に、象限Bでは自動車保有が少なく遠方に通勤通学していることから、公共交通機関が発達している可能性が高いといえる。このように、統計データに基づいて象限を区切り分析することで、各自治体が持つ側面を可視化することができるようになる。

次に、他の統計データを加えた市区町村の類型化を試みる。図S5-9においてどの象限に属していたかを市区町村ごとに保持させ、そのまま横軸の統計データを差し替えた分析を行う。図S5-10に例として横軸を人口あたりの自動車通勤・通学者数（最大値による正規化済）に変更したものを示す。通勤・通学に自動車を用いているということは、平日に利用していることになり、車の利用頻度が比較的多いことを意味すると考えられる。そのため、例えば元々象限Bにいた自治体が象限A'に移動した場合には、自動車保有は少ないが使用頻度は高い自治体とみなすことができ、導入を検討すべき技術として最新の次世代自動車技術があげられ、その導入により環境負荷低減・省エネルギー化に貢献できうると考えられる。一方、元々象限Aにいた自治体で象限B'に移動した場合、自動車の保有は多いが使用頻度が少ない自治体と考えることができる。そのため、家庭で未稼働の次世代自動車を定置型蓄電池として運用し、電力グリッドにおける変動調整能力として利用することが検討できう。さらに、図S5-10について、人口密度を考慮して4つに分割したものを図S5-11に示す。人口密度の区分としては、既往の研究事例（例えば文献(13)）を参考に、超高密度地域、高密度、中密度、低密度地域とした。人口密度が大きい方から小さい方に変化するにつれて、象限B'からA'、D'、C'へと推移していることが分かる。これにより、人口密度毎に市区町村が持っている特徴を象限の特性に合わせて認識することができる。

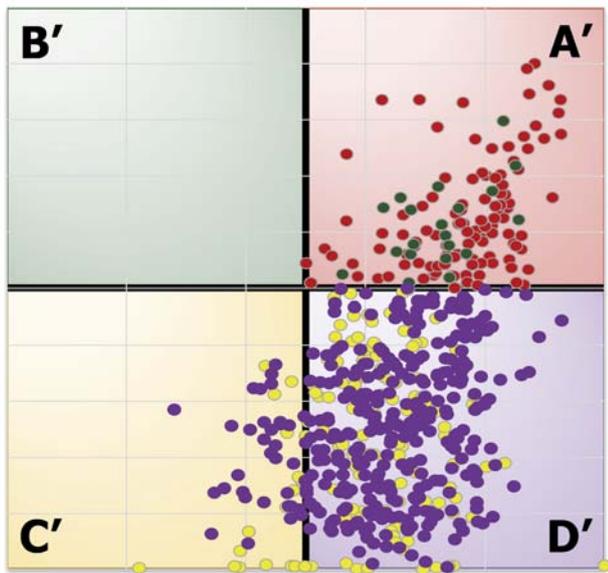
以上の例にみられるように、都市の類型化によって同様な特徴を持つ自治体がどこなのかを、客観的な統計データから機械的に導出できる可能性があることが分かった。市区町村をはじめ、多くの統計データは膨大に蓄積された、いわゆるビッグデータとなりつつあり、その利用方法を検討することが新たな技術の開発やシームレスな導入、より効果的な組み合わせの探索などに貢献できる可能性がある。類型化のグループに合わせて、国内で実施されているスマートシティプロジェクトなどの特定の自治体における成功事例や、場合によっては失敗事例を参考にすることで、どのような地域でどのような取り組みを優先すべきかを分析することができるようになる。



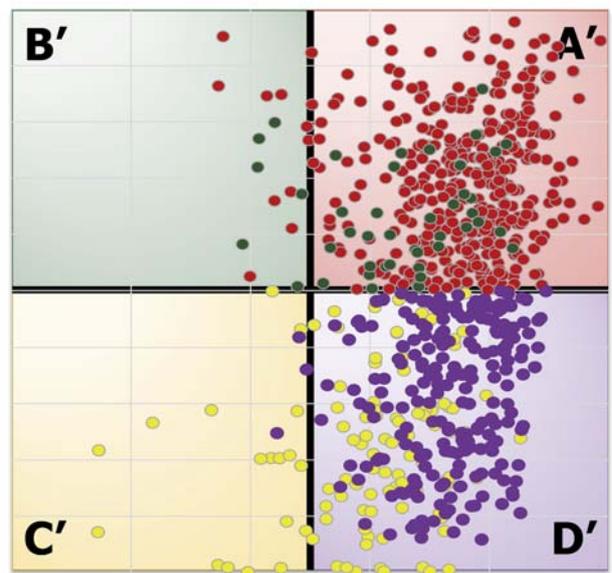
図S5-9 都市類型化例1



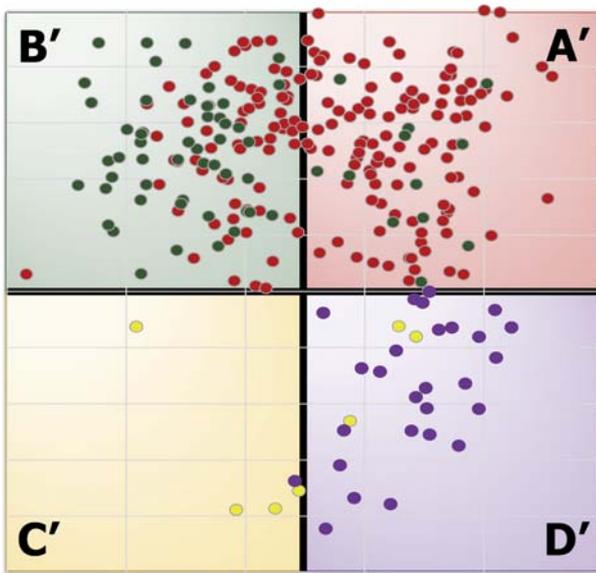
図S5-10 都市類型化例2



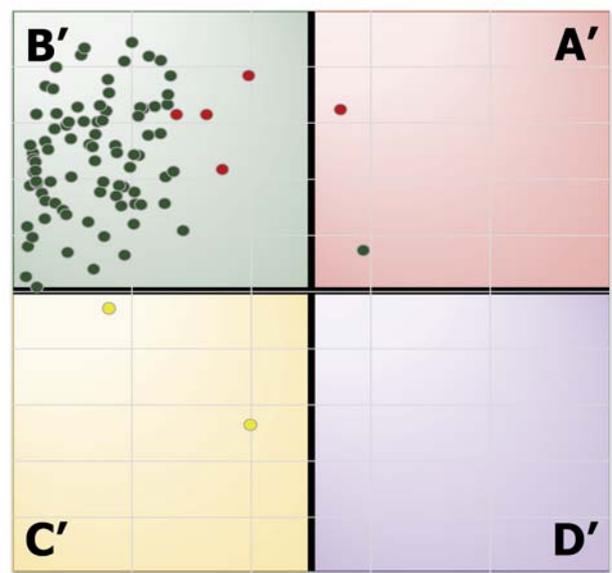
(a) 0 - 100: 低密度地域 (591市区町村)



(b) 100-1,000: 中密度地域 (780市区町村)



(c) 1,000 - 5,000: 高密度地域 (277市区町村)



(d) 5,000-10,000: 超高密度地域 (93市区町村)

図S5-11 人口密度[人/km<sup>2</sup>]別の都市類型化事例

【付録5 参考文献】

- (1) 日本エネルギー経済研究所, エネルギー経済統計要覧.
- (2) 国土交通省, 自動車輸送統計年報,  
<http://www.mlit.go.jp/k-toukei/06/annual/index.pdf>.

- (3) 日本エネルギー経済研究所, アジア・世界エネルギーアウトック2014, <https://eneken.ieej.or.jp/data/5726.pdf>, (2014.10).
- (4) 経済産業省, 総合資源エネルギー調査会長期エネルギー需給見通し小委員会第3回会合配布資料, [http://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic\\_policy\\_subcommittee/mitoshi/003/pdf/003\\_06.pdf](http://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/003/pdf/003_06.pdf), (2015.2).
- (5) Kajikawa, Y., J. Ohno, Y. Takeda, K. Matsushima and H. Komiyama, *Sustain. Sci.*, 2, 221-231, (2007).
- (6) 菊池康紀, 化学工学論文集, 40(3), 211-223, (2014).
- (7) Innovation Policy Research Center, The University of Tokyo and Kajikawa Laboratory, Tokyo Institute of Technology, <http://academic-landscape.com/page/about>, (2014).
- (8) Thomson Reuters, Web of Science, <http://wokinfo.com/>, (2012).
- (9) Fujita, K., Y. Kajikawa, J. Mori and I. Sakata, 17th Int. Conf. Sci. Technol. Indicators, 273-284, (2012).
- (10) 科学研究費助成事業データベース, <https://kaken.nii.ac.jp/>.
- (11) 科学技術信仰機構ホームページ, <http://www.jst.go.jp/index.html>.
- (12) 東洋経済新報社, 地域経済総覧2014, 東洋経済, (2013).
- (13) 小田, 秋澤, 柏木, エネルギー・資源学会論文誌, 34(2), 1-8, (2013).

## ■報告書作成メンバー■

笠木 伸英	副センター長、上席フェロー	(~2015年7月)
倉持 隆雄	センター長代理、上席フェロー	
斎藤 広明	フェロー	(環境・エネルギーユニット)
鹿園 直毅	フェロー	(環境・エネルギーユニット)
島津 博基	フェロー	(環境・エネルギーユニット)
周 少丹	フェロー	(海外動向ユニット)
関根 泰	フェロー	(環境・エネルギーユニット)
高島 洋典	フェロー	(システム・情報科学技術ユニット)
藤井 新一郎	フェロー	(システム・情報科学技術ユニット)
吉田 有希	主査	(戦略研究推進部)

<2014年度予備調査活動メンバー (上記に記載ある者を除く)>

伊藤 浩吉	特任フェロー	(環境・エネルギーユニット)
菊池 康紀	特任フェロー	(環境・エネルギーユニット)
福田 哲也	フェロー	(環境・エネルギーユニット) (~2015年3月)
松本 麻奈美	フェロー	(環境・エネルギーユニット)

※お問い合わせ等は下記ユニットまでお願いいたします。

CRDS-FY2015-RR-06

### 調査報告書

## ビジネス・ロジスティクス研究開発の現状に関する調査報告書

平成 27 年 12 月 December, 2015

ISBN 978-4-88890-486-5

国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター  
環境・エネルギーユニット

Environment and Energy Unit, Center for Research and Development Strategy  
Japan Science and Technology Agency

〒 102-0076 東京都千代田区五番町 7 K' s 五番町

電話 03-5214-7481

ファックス 03-5214-7385

<http://www.jst.go.jp/crds/>

© 2015 JST/CRDS

許可無く複写／複製することを禁じます。

引用を行う際は、必ず出典を記述願います。

No part of this publication may be reproduced, copied, transmitted or translated without written permission.  
Application should be sent to [crds@jst.go.jp](mailto:crds@jst.go.jp). Any quotations must be appropriately acknowledged.

