

# ICT を活用した大型貨物車の交通荷重情報の収集方法

2016 年 3 月

関谷 浩孝

# ICT を活用した大型貨物車の交通荷重情報の収集方法

関谷 浩孝

システム情報工学研究科

筑波大学

2016 年 3 月

## 目次 ICT を活用した大型貨物車の交通荷重情報の収集方法

第1章	序論.....	1
1.1	研究の背景.....	1
1.2	研究の目的.....	4
1.3	対象範囲.....	10
1.3.1	対象とする車両.....	10
1.3.2	対象とする道路.....	11
1.3.3	対象とする道路構造物.....	11
1.4	論文の構成.....	12
第2章	研究の位置づけ.....	14
2.1	本章の目的と構成.....	14
2.2	大型貨物車走行及び道路構造物の現状.....	14
2.2.1	走行車両に関する規則と走行実態.....	14
2.2.2	重量車両走行の影響.....	16
2.2.3	道路構造物の老朽化と維持修繕費用の現状.....	17
2.3	重量データ収集の現状.....	19
2.4	位置データの課題と対応策.....	21
2.4.1	位置データ収集の現状.....	21
2.4.2	位置データによる走行経路把握の可能性.....	23
2.4.3	位置データの課題.....	24
2.4.4	対応策の提案.....	25
2.4.5	位置データの量に関する考察.....	27
2.5	関連する研究の中での本研究の位置づけ.....	29
2.5.1	道路構造物の交通荷重の把握に関する研究.....	29
2.5.2	大型貨物車の経路選択モデルに関する研究.....	29
2.5.3	施設の配置方法に関する研究.....	30
2.6	国外における関連施策との比較.....	33
2.6.1	オーストラリアにおける走行経路の監視.....	33
2.6.2	欧州における取り組み.....	35
2.6.3	国外における取組との比較.....	39
2.7	小括.....	41

第3章	大型貨物車の経路選択モデル	44
3.1	本章の目的と構成	44
3.2	道路ネットワークデータの作成	44
3.3	経路選択に影響を与える道路構造の特定	47
3.3.1	本節の目的と構成	47
3.3.2	走行経路調査	47
3.3.3	経路選択時に考慮する事項	48
3.3.4	ヒアリング経路の道路構造規格	48
3.4	経路選択モデルの定式化	52
3.5	経路選択モデルのパラメータ推定	54
3.6	経路選択モデルの有効性の確認	56
3.6.1	本節の目的と構成	56
3.6.2	経路選択モデル0の推定	57
3.6.3	ヒアリング経路との比較	57
3.6.4	プローブ経路との比較	58
3.7	小括	60
3.7.1	研究成果	60
3.7.2	考察	61
3.7.3	今後の課題	62
第4章	車重計の配置方法	63
4.1	本章の目的と構成	63
4.2	基礎条件の設定	64
4.2.1	走行経路及び交通荷重推計のデータソース	64
4.2.2	道路ネットワークデータ	65
4.2.3	トリップODデータ	67
4.3	走行経路の推計	69
4.3.1	推計方法	69
4.3.2	高速道路利用トリップにおける一般道路利用区間の抽出方法	71
4.3.3	推計結果	72
4.4	交通荷重の推計	73
4.4.1	本節の目的と構成	73
4.4.2	走行時の車両総重量の設定	73
4.4.3	大型貨物車トリップの分布	76
4.4.4	交通荷重の推計	76

4.5	車重計の適切な配置方法（研究目的 1-1）	78
4.5.1	本節の目的と構成	78
4.5.2	配置方法の効率性の評価指標（車重計カバー率）の定義	78
4.5.3	車重計の配置方法 I ～ III の定義	79
4.5.4	車重計の配置箇所の選定	84
4.5.5	配置方法の効率性の評価	87
4.6	逐次決定と同時決定の比較（研究目的 1-2）	92
4.6.1	本節の目的と構成	92
4.6.2	逐次決定と同時決定による箇所選定方法	92
4.6.3	逐次決定と同時決定の得失	93
4.6.4	逐次決定と同時決定の車重計カバー率の比較	95
4.6.5	考察	96
4.7	必要な車重計数の把握方法（研究目的 1-3）	98
4.7.1	本節の目的と構成	98
4.7.2	車載器搭載率を考慮した配置箇所の検討方法	99
4.7.3	走行距離帯毎の車載器搭載率の設定	100
4.7.4	車載器搭載率を考慮した「トリップ OD データセット」の作成	102
4.7.5	車重計の配置箇所の選定	103
4.7.6	車重計の配置数と車重計カバー率との関係	103
4.7.7	本節での分析方法の有効性	106
4.8	小括	108
4.8.1	研究成果	108
4.8.2	今後の課題	109
第 5 章	重量データと位置データとを関連付けて交通荷重情報を収集する方法の有効性の検証	112
5.1	本章の目的と構成	112
5.2	重量データと位置データとを関連付けて交通荷重情報を収集する方法	112
5.3	累積交通荷重の算定手順	114
5.4	有効性の検証（研究目的 2）	116
5.4.1	本節の目的と構成	116
5.4.2	検証方法	116
5.4.3	有効性の検証	118
5.5	小括	121
5.5.1	研究成果	121
5.5.2	今後の課題	121

第6章	総括	123
6.1	研究成果のまとめ	123
6.1.1	得られた知見	123
6.1.2	本研究の新規性	126
6.2	課題と今後の研究展開	128
	謝辞	130
	参考文献	131
	研究業績	142
図表		
図 1-1	橋梁の架替理由	2
図 1-2	重量データと位置データとの関連付け	3
図 1-3	交通荷重情報の収集	4
図 1-4	対象エリアのイメージ	4
図 1-5	逐次決定と同時決定による配置箇所の選定イメージ	6
図 1-6	目標値達成に必要な車重計の配置数	7
図 1-7	交通荷重情報収集のイメージ	8
図 1-8	研究の目的	9
図 1-9	構造物毎の累積交通荷重の把握	10
図 1-10	累積交通荷重に応じた点検方法	10
図 1-11	大規模カルバート	11
図 1-12	本稿の構成	13
図 2-1	新幹線車両の輸送	15
図 2-2	貨物車の重量違反の実態	16
図 2-3	総重量違反車両 (82 トン)	16
図 2-4	「走行台数」及び「疲労損傷の影響度」の構成比 (軸重量別)	17
図 2-5	橋梁の架設数 (2012 年 4 月時点)	17
図 2-6	橋梁の維持修繕費用	18
図 2-7	橋梁の推計寿命	18
図 2-8	道路の投資額	19
図 2-9	指導取締基地	19
図 2-10	車重計	20
図 2-11	ETC2.0 サービスでの通信	21

図 2-12	ETC2.0 車載器の情報蓄積	21
図 2-13	位置データの例	22
図 2-14	商用車運行管理サービス車載器	25
図 2-15	積載重量が変化する位置と時刻を把握する方法	26
図 2-16	間接的な交通荷重把握のイメージ	29
図 2-17	配置方法の検討で用いる経路のイメージ	32
図 2-18	IAP の枠組み	33
図 2-19	走行経路の監視イメージ	33
図 2-20	重量車両の指定走行経路	34
図 2-21	欧州における課金制度（2015 年）	35
図 2-22	対距離課金区間の例	36
図 2-23	スイスの車載器	38
図 2-24	国外における制度で使用する重量情報及び位置情報	39
図 3-1	道路ネットワークデータ	44
図 3-2	交差点リンクのイメージ	45
図 3-3	車両サイズと車両分類との関係（セミトレーラ）	45
図 3-4	ヒアリング経路	47
図 3-5	大型貨物車のドライバーが経路選択時に考慮する事項	48
図 3-6	車線数（片側）と幅員	49
図 3-7	折進交差点リンク数の交差点ランク別集計	50
図 3-8	重複率最大化モデル	54
図 3-9	パラメータ推定に用いる経路	54
図 3-10	本節の構成	56
図 3-11	経路選択モデルによる推計経路とヒアリング経路	57
図 3-12	プローブ経路	59
図 3-13	プローブ経路数（発生量/日）	59
図 3-14	プローブ経路及び最小時間経路	59
図 4-1	本章の構成	63
図 4-2	単路部リンク及び交差点リンク	65
図 4-3	道路ネットワークデータ	66
図 4-4	対象トリップ	67
図 4-5	高速道路利用トリップにおける一般道利用区間の抽出	71
図 4-6	経路及びリンク交通量の推計結果	72
図 4-7	対象範囲	72
図 4-8	最大積載重量と車両重量との関係	74
図 4-9	大型貨物車トリップの分布（トリップ数ベース及び重量ベース）	76

図 4-10	道路ネットワーク上の交通荷重	77
図 4-11	比較対象の配置方法	78
図 4-12	仮想的な交通状況	81
図 4-13	1箇所目の車重計で捕捉できる車両の交通量及び交通荷重	84
図 4-14	1箇所目の車重計で捕捉できない車両の交通量及び交通荷重	85
図 4-15	1箇所目及び2箇所目の車重計で捕捉できない車両の交通量及び交通荷重	85
図 4-16	車重計の配置数と車重計カバー率との関係	87
図 4-17	車重計の追加配置に伴う車重計カバー率の増加量（全区間）	88
図 4-18	車重計の追加配置に伴う車重計カバー率の増加量（橋梁区間）	88
図 4-19	車重計カバー率 90%達成に必要な車重計の配置数（ $u$ ）	89
図 4-20	車重計 1箇所あたりの車重計カバー率（車重計カバー率 90%時）	89
図 4-21	既存の車重計の非通過車両を新規に捕捉できる割合	90
図 4-22	既存の車重計の非通過車両を新規に捕捉できる割合（平均）	90
図 4-23	比較対象の配置方法	92
図 4-24	仮想的な交通状況	93
図 4-25	車重計を2箇所に配置する際の車重計カバー率	93
図 4-26	必要な計算数（逐次決定と同時決定の比較）	94
図 4-27	OD分布と車重計配置のイメージ	97
図 4-28	分析に用いる配置方法	98
図 4-29	車載器搭載率と車重計カバー率	99
図 4-30	車載器搭載率（ $p$ ）の設定イメージ	99
図 4-31	ETC 搭載率	100
図 4-32	一日の走行距離の分布	100
図 4-33	ETC 搭載率（3 距離帯）	101
図 4-34	車重計の配置数と車重計カバー率（全区間）	104
図 4-35	車重計の配置数と車重計カバー率（全区間、橋梁区間）	105
図 4-36	車載器搭載率 $p=1.00$ 時の順序で配置する場合の車重計カバー率の低下	107
図 4-37	施策実施対象エリアのイメージ	110
図 5-1	同一重量区間の特定	113
図 5-2	計測重量データの付加	113
図 5-3	走行リンクの特定	114
図 5-4	(A) 位置データベース（車両毎）	114
図 5-5	(B) 重量データベース（車重計毎）	114
図 5-6	交通荷重データベース（リンク毎）	115
図 5-7	分析に用いる配置方法	116
図 5-8	仮想的な交通状況	117

図 5-9	交通荷重情報の収集可能な区間 .....	118
図 5-10	車重計カバー率 100%達成に必要な車重計の配置数 .....	119
図 5-11	1つの車重計による車重計カバー率の比較 .....	119
図 5-12	車重計カバー率の比較 .....	120
図 5-13	車重計の配置箇所 .....	120
表 1-1	配置箇所の選定に用いる指標 .....	5
表 1-2	データソース .....	7
表 1-3	貨物車の車種別トリップ数（全国） .....	10
表 1-4	道路の種類 .....	11
表 2-1	車両制限令による一般的制限値 .....	14
表 2-2	特殊車両の通行許可条件 .....	15
表 2-3	特殊車両の許可状況（2013年度） .....	15
表 2-4	指導取締の結果（2013年度） .....	20
表 2-5	ETC2.0 サービスデータ項目 .....	22
表 2-6	運行記録計の普及・義務化ロードマップ .....	26
表 2-7	次世代運行記録計に期待される機能 .....	26
表 2-8	ドイツの対距離課金額（kmあたり） .....	37
表 3-1	道路ネットワークの構成 .....	45
表 3-2	交差点ランク .....	45
表 3-3	折進軌跡と通行許可条件との関係 .....	46
表 3-4	ヒアリング経路 .....	47
表 3-5	車線数（片側）と幅員 .....	49
表 3-6	車種毎の車長 .....	49
表 3-7	折進交差点リンク数の交差点ランク別集計 .....	50
表 3-8	折進交差点リンクの差の検定 .....	51
表 3-9	パラメータ推定結果 .....	55
表 3-10	モデル0のパラメータ推定結果 .....	57
表 3-11	ヒアリング経路と経路選択モデルによる推計経路との重複率 .....	58
表 3-12	経路選択モデルの説明変数 .....	58
表 3-13	プローブ経路と経路選択モデルによる推計経路との重複率 .....	60
表 4-1	各種調査の比較 .....	64
表 4-2	リンクパフォーマンス関数のパラメータの設定例 .....	66
表 4-3	トリップ OD の属性情報 .....	67
表 4-4	大型貨物車トリップの発生集中量 .....	67
表 4-5	普通車トリップの発生集中量 .....	68

表 4-6	大型貨物車の総走行距離及び橋梁の総通過回数	72
表 4-7	大型貨物車の最大積載重量と車両重量	74
表 4-8	平均体重の算定	75
表 4-9	交通荷重の総量	77
表 4-10	配置方法 I ~ III	79
表 4-11	仮想的な交通状況での車重計の配置	81
表 4-12	車重計の配置（1~3 箇所）による車重計カバー率等（全区間）	86
表 4-13	車重計の配置（1~3 箇所）による車重計カバー率等（橋梁区間）	86
表 4-14	逐次決定及び同時決定で選定される配置箇所の組合せ	96
表 4-15	1 日の走行距離と ETC 搭載率	100
表 4-16	走行距離帯毎の ETC 搭載率	101
表 4-17	走行距離帯毎の車載器搭載率	101
表 4-18	走行距離帯毎の車載器搭載率に応じて抽出される車両数	102
表 4-19	抽出された 10 通りの車両（819 台）についての指標	102
表 4-20	選定された配置箇所（リンク ID）の比較	103
表 4-21	所要の車重計カバー率を達成するために必要な車重計の配置数（ $u$ ）	105
表 5-1	関連付けあり/なしの車重計カバー率の算定例	118
表 5-2	重量データと位置データとを関連付けることの効果を評価する指標	122

## 第1章 序論

### 1.1 研究の背景

2012年の中央自動車道笹子トンネルにおける天井版崩落事故が象徴するように、道路構造物の劣化や老朽化の問題が顕在化している。特に橋梁については、高度経済成長期に建設された多くの橋梁が間もなく寿命を迎えることから、今後、多大な修繕・更新（架替え）費用が必要になることが予測されている（2.2.3参照）。少子高齢化に伴って社会保障関係費が増加する中、既存の構造物を健全に保ち、かつ新規の社会資本整備を計画的に行っていくには、こういった修繕・更新費用を真に抑制することが求められる。このためには、損傷が深刻化した後に大規模な修繕を行う「事後保全型」に代わり、損傷が初期の段階から軽微な手当を行う「予防保全型」の維持修繕を積極的に実施することが重要である<sup>1)2)</sup>。これにより、構造物の新設から廃止に至るまでの総費用（ライフサイクルコスト）を縮減することができる。例えば東京都では、予防保全型の維持修繕を導入することで今後30年間の橋梁の修繕・更新費用が約1/3（1.6兆円→0.5兆円）になると試算している<sup>3)</sup>。

予防保全を適切に実施するには、まず損傷等の異常を早期に発見することが何より重要である。このため2004年には橋梁定期点検要領<sup>4)</sup>を改訂し、国土交通大臣が管理する国道（以下「直轄国道」という。）上の橋梁の点検頻度を「10年に1度」から「5年に1度」に変更した<sup>1)</sup>。さらに2014年には道路法施行規則を改正し、地方公共団体が管理する橋梁も含めた全ての橋梁を5年に1度「近接目視」による点検を行い、点検結果を4ランクで評価する<sup>2)</sup>ことを義務付けた。しかし、橋梁の点検業務に携わる土木技術者が一人もいないなど<sup>3)</sup>、必要な点検を継続的に実施することが困難な地方公共団体もある<sup>5)</sup>。そこで「道路メンテナンス会議」<sup>6)</sup>を各県に設置し、国が点検業務を地域単位で一括発注したり<sup>4)</sup>、点検を代行したりするなど<sup>5)</sup>、地方公共団体への技術支援が行われている。

<sup>1)</sup> 橋梁定期点検要領(2004年3月):「定期点検は供用後2年以内に初回を行うものとし、2回目以降は原則として5年以内に行うものとする。」

<sup>2)</sup> 4ランクでの評価 1 健全: 構造物の機能に支障が生じていない状態。2 予防措置段階: 構造物の機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態。3 早期措置段階: 構造物の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態。4 緊急措置段階: 構造物の機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態。

<sup>3)</sup> 橋梁の点検業務に携わる土木技術者がいない自治体の割合（2012年国土交通省調べ）: 市14%（N=391）、町46%（N=367）、村70%（N=90）。

<sup>4)</sup> 2014年度は、26都道府県において116市町村が「一括発注」の支援を受けた。

<sup>5)</sup> 地方公共団体が管理する橋梁のうち緊急性が高く高度な技術を要する3橋の点検を2014年に国土交通省が代行して実施（福島県三島大橋（橋長131m、1975年建設）、群馬県大前橋（橋長73m、1958年建設）、高知県大渡ダム大橋（橋長444m、1983年建設））。このうち2橋については修繕についても代行（三島大橋、大渡ダム大橋）。

しかしながら橋梁（橋長 2m 以上）は全国で約 70 万橋あり、これらを定期的に点検するには多大な人手と費用が必要となることには変わりがない。このことから、民間や大学などの研究機関において点検作業の省力化や効率化を目的とした技術開発が行われている。例えば最近では、遠隔操作で高所にある部材を近影するだけでなく、打音検査まで行う飛行式ロボットの開発も行われるようになった<sup>7)</sup>。さらには、これらの新技術の実用性を確認する現場実験や評価を行う委員会<sup>8) 9)</sup>や産学官のメンバーで構成するコンソーシアム<sup>10)</sup>を設立するなど、産学官が連携して道路構造物の損傷を効率的かつ的確に把握しようとする取組が行われている<sup>6)</sup>。

翻って、上記のように損傷そのものを直接把握する方法に加え、「損傷の要因となる事象」を計測し、損傷の程度を間接的に把握する方法を開発することは有益であると考えられる。橋梁の架替え理由（図 1-1）の約 7 割は「疲労損傷」であり<sup>11)</sup>、この疲労損傷の要因は「交通荷重」であることが既往研究<sup>12) 13) 14)</sup>で明らかにされている。三木<sup>15)</sup>は、重量車両による交通荷重を把握することが疲労損傷の対策検討の基本的事項であることを指摘している。宮村<sup>16)</sup>は、道路インフラの健全な長寿命化には交通荷重の適正管理が最も重要であると述べている。

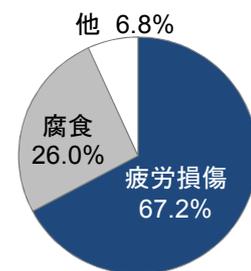


図 1-1 橋梁の架替え理由<sup>7)</sup>

この交通荷重を把握する方法について、多くの研究が行われている（2.5.1 参照）。そのほとんどは、車両が橋梁を走行する際の部材の応答（ひずみや支点反力など）から交通重量を推計する方法を扱うものである。しかしこれにはいくつか課題がある。まず、複数の車両が同時に橋梁を通過する場合や低速走行時に、交通荷重を正確に計測することができない<sup>17)</sup>。さらに、この方法を適用できるのは橋梁区間のみに限られるという課題もある。橋梁でない「一般部区間」でも重量車両の走行に起因する「わだち掘れ」や「路面・路盤損傷」が問題となっているが、既往研究の方法ではこういった区間における交通荷重を把握することができない。

<sup>6)</sup> 2014 年 2 月に国土交通省及び経済産業省が「次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会」を設置。産学官の各分野の専門家により、公募された 65 技術について国土交通省が管轄する現場 14 箇所で行った検証を実施。

2015 年 4 月に国土交通省中部地方整備局と一般社団法人日本建設機械施行協会中部支部が「中部圏インフラ用ロボットコンソーシアム」を設立。産学官が一体となり、ロボット産業と建設産業の交流促進、点検ロボットの現場検証の支援等を行うことを目的に活動を行っている。

<sup>7)</sup> 損傷に起因する架替えを対象。次の架替えは除く。

- ・機能上の問題（幅員不足、桁下高不足など）に起因する架替え
- ・改良工事（道路線形改良、河川改修など）に伴う架替え
- ・地震災害などに伴う架替え

そこで、ICT（情報通信技術：Information and Communication Technology）を活用して交通荷重情報を効率的に収集する方法を考えてみる。国土交通省は、直轄国道の本線上に車両重量自動計測装置（以下「車重計」という。）を配置し、2008年から走行車両の「重量データ」の収集を行っている（2.3 参照）。さらに、GNSS（全地球航法衛星システム：Global Navigation Satellite System）<sup>8</sup>の測位情報を用いたETC2.0サービスや商用車運行管理サービス（2.4.1 参照）により、特に2010年以降、走行車両の「位置データ」を大量に取得できるようになった。また、これらの位置データを道路交通の実態把握に活用する研究<sup>18)19)20)</sup>も多数見られる（2.4.2 参照）。つまり、走行時の「重量データ」と「位置データ」といった道路ネットワーク上の交通荷重を把握するために必要な基礎データが取得されている。しかし、現在これらのデータが関連付けられていないため、車重計を配置していない区間では交通荷重を把握することができない（図 1-2 左）。ここで「重量データ」と「位置データ」とを関連付けることにより、車重計を通過する車両（車両③及び車両④）については、車重計を配置していない区間においても交通荷重を把握することが可能になる（図 1-2 右）。

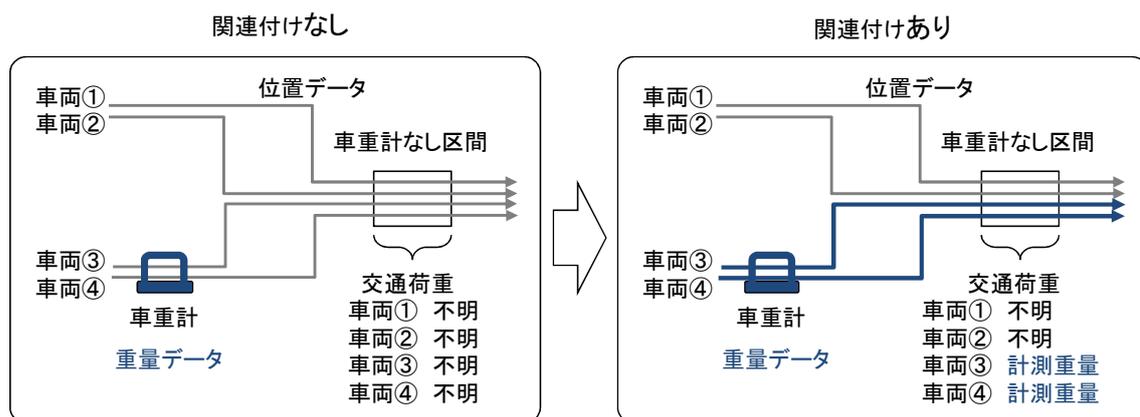


図 1-2 重量データと位置データとの関連付け

<sup>8</sup> GNSS：米国の GPS、ロシアの GLONASS、EU の Galileo、日本の準天頂衛星システム（QZSS：Quasi-Zenith Satellite System）など、人工衛星を用いて地上の位置を計測するシステムの総称。

## 1.2 研究の目的

そこで図 1-3 に示すような手順で「車重計で収集する重量データ」と「ETC2.0 サービスなどで収集する車両の位置データ」とを関連付けて道路ネットワーク上の構造物にかかる交通荷重を把握する施策を考える。「Ⅰ.基礎データ収集装置の配置」では、政策的に与えられる「交通荷重情報収集の対象エリア」や「収集量の目標値」などに応じて、基礎データ（重量・位置データ）の収集装置を道路ネットワーク上に配置する。「Ⅱ.基礎データの関連付け」では、収集した重量データと位置データとを関連付けることにより個々の車両の走行経路上の交通荷重を把握し、構造物毎に交通荷重データを作成する。なお対象エリアは、全国幹線旅客純流動調査などで用いられる「207 生活圏ゾーン<sup>21)</sup>」程度の大きさで、半島地域など効率的に車両を捕捉できるエリアとすることを想定している（図 1-4）。また、将来の貨物輸送需要や大型貨物車の交通状況を確実に予測できないことなどから、各エリアには車重計を年に1箇所ずつ逐次的に建設（配置）することを想定している。

本研究では、京葉臨海工業地帯を抱える千葉県南部地域を検討対象エリアとし、このエリアにおける構造物の交通荷重データを効率的に収集する方策を提案する。以下、上記の施策を実務に展開しようとする際に必要となる研究事項を検討し、本研究における具体的な目的を設定する。

### 「Ⅰ.基礎データ（重量・位置）収集装置の配置」について

基礎データのうち「重量データ」を収集する車重計の配置数は全国で40箇所にとどまる。このため、千葉県南部地域など車重計が一つも配置されていない地域がある。また、これらの車重計は「重量違反車両の検知」を目的とした箇所に配置されていることから、「交通荷重情報を効率的に収集する」という観点での配置方法について研究を行う必要があると考える。

一方、「位置データ」の収集装置については車重計と状況が異なる。商用車運行管理サービスでは携帯電話網を利用して位置データを収集している（2.4.1.2 参照）ことから、道路ネットワーク上に収集装置を配置する必要はない。ETC2.0 サービスについては路側

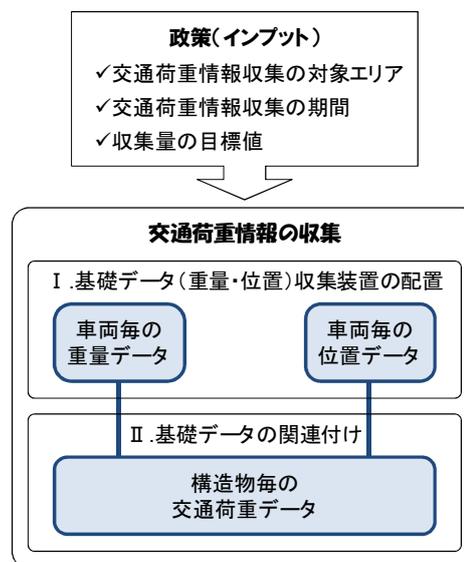


図 1-3 交通荷重情報の収集

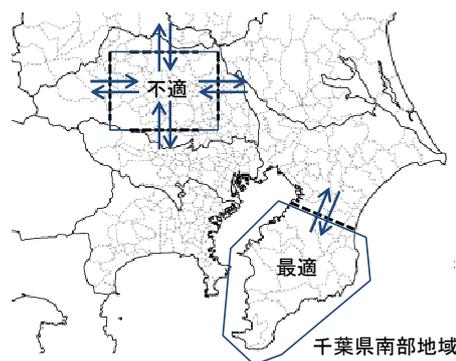


図 1-4 対象エリアのイメージ

に収集装置を配置する必要があるものの、既に高速道路上に約 1,600 基、一般道路上に 1,800 基が配置されている (2.4.1.1 参照)。このことから、位置データについては道路ネットワーク上での収集装置よりも「位置の特定を行うために必要な車載器を搭載している車両の割合 (以下「車載器搭載率」という。)」の影響が大きいと考える。

そこで「I.基礎データ収集装置の配置」については車重計のみを対象とし、以下に具体的な研究目的を示す。

### 車重計の適切な配置方法

より多くの交通荷重情報を収集するには、どのように車重計を配置したらよいかを考えてみる。まず構造物損傷への影響という点では、重量が大きい車両を数多く捕捉できる箇所に配置することが望ましい。また、少ない車重計で多くの構造物上の交通荷重を把握するという点では、走行距離の長い車両を数多く捕捉できる箇所に配置することが望ましい。このような配置箇所を選定しようとする、個々の車両の「重量」や「走行経路」を把握するための調査が必要となる。一方、上記のような重量車両や走行距離の長い車両は、どの区間にも一定の割合で走行していることを想定し、単に交通量の多い箇所に車重計を配置するという方法もある。この場合「地点毎の交通量」のみを調査すればよいことから、前者に比べて調査の負担が小さくて済むというメリットがある。しかし「交通荷重情報の収集量」が少なくなることが懸念される (表 1-1)。

このため、「交通量」といった地点毎の総量を表す情報に基づいて箇所選定を行う場合と、「経路」、「重量」のような個々の車両に着目した詳細な情報に基づいて箇所選定を行う場合とで「交通荷重情報の収集量」にどの程度の差が生じるかを明らかにしておくことは意義がある。この結果「交通荷重情報の収集量」に差がない場合は、交通量のみを調査すれば済むことになる。これは、実務で配置箇所の選定を行う際の有益な情報になると考える。そこで研究目的 1-1 として次を掲げる。

**研究目的 1-1** 交通量、経路及び重量を指標として複数の配置方法の効率性を評価し、車重計の適切な配置方法に関する知見を得る。

表 1-1 配置箇所の選定に用いる指標

指標	調査の負担	交通荷重情報の収集量
交通量	小	小
個々の車両の 経路 " 重量	大	大

↑ ↓ 差?

### 逐次決定と同時決定の比較

本研究での逐次決定と同時決定の扱いを考えてみる。上述した施策では、検討対象エリアに車重計を年に1箇所ずつ配置することから、「逐次決定」による配置方法を用いることが望ましい。これは、 $n-1$  箇所目までの施設の配置状況を所与として  $n$  箇所目の配置箇所を決定するものである。例えば図 1-5 に示すように、まず道路ネットワークや大型貨物車交通の発生・集中量の地域分布（以下「OD 分布」という。）などから、最も多くの交通荷重情報を収集できる箇所に車重計を配置する。そしてその翌年に、その時点での OD 分布などに基づき 2 つ目の車重計の配置箇所を決定する。このように逐次決定は、景気変動などに伴って OD 分布が変化する場合にも適切な配置箇所を選定することができるというメリットがある。

ところが、車重計の配置を行う期間（例えば図 1-5 の 2016～2020 年の 5 年間）において、OD 分布などが大きく変化しない場合、選定された 5 つの配置箇所が必ずしも最適解であるとは限らない。この場合、常に最適解を得ることができる「同時決定」を用いる方が有利となる（4.6.3 参照）。これは、施設が何も配置されていない状況から  $n$  箇所の施設の配置箇所を一度に決定するものである。例えば図 1-5 では、2016 年に 5 つの配置箇所を決定し、2020 年まで年に 1 箇所ずつ配置していく。

このため、OD 分布などが変化しない場合にも「逐次決定」で箇所選定を行っても問題ないことを確認しておく必要があると考える。そこで研究目的 1-2 として次を掲げる。

**研究目的 1-2 逐次決定と同時決定とで得られる交通荷重情報の量を比較し、逐次決定により箇所選定を行うことの妥当性を確認する。**

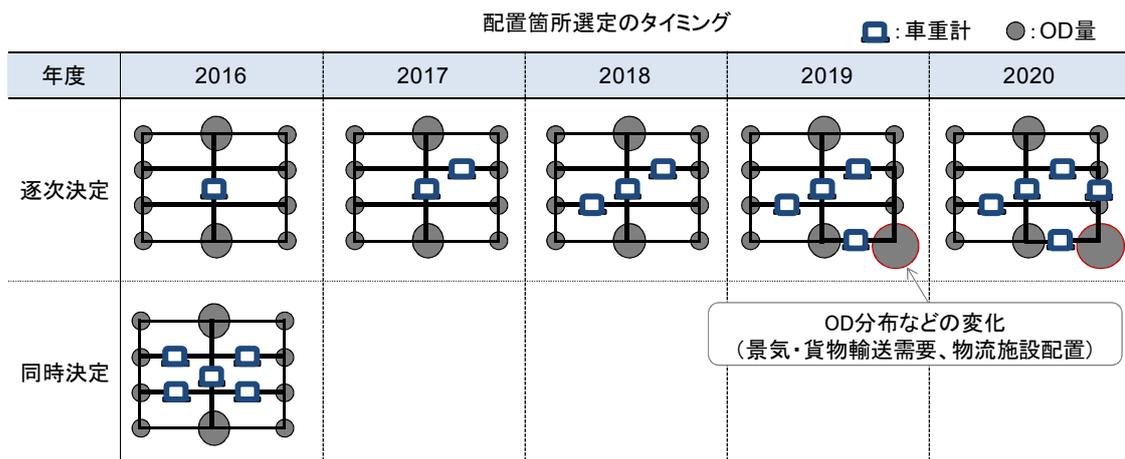


図 1-5 逐次決定と同時決定による配置箇所の選定イメージ

### 必要な車重計の配置数の把握方法

上述の施策は、複数年にわたり車重計を順次配置するものである。このため、中長期にわたる車重計配置の年次計画を策定することができるように、「交通荷重情報の収集量の目標値（図 1-3 参照）」を達成するために必要となる車重計の配置数を把握する必要がある（図 1-6）。これには「車重計の配置数」と「交通荷重情報の収集量」との関係性を明らかにしなければならない。また、重量データと位置データの両者を取得できてはじめて交通荷重情報を収集できることから、上記の関係分析には車載器搭載率を考慮する必要がある。このため研究目的 1-3 として次を掲げる。

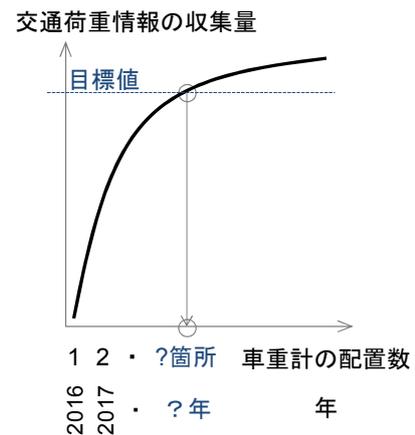


図 1-6 目標値達成に必要な車重計の配置数

**研究目的 1-3** 車載器搭載率を考慮して、所要の交通荷重情報を収集するために必要となる「車重計の配置数」を把握する方法を構築する。

### 大型貨物車の経路選択特性を考慮した経路選択モデルの構築

上記の研究目的 1-1、1-2 及び 1-3 の分析を行おうとすると、検討対象エリアにおける個々の車両の「重量」と「走行経路」の情報が必要となる。そこで、これら情報のデータソースを考えてみる。表 1-2 に示すように、ETC2.0 サービス及び商用車運行管理サービス等のプローブ情報では、個々の車両について

表 1-2 データソース

	ETC2.0などの プローブ情報	道路交通センサス OD調査
車両重量	× 不明	○ 走行時の積載重量等
走行経路	○ 走行軌跡	× 不明(起終点は把握可) →起終点から経路を推計
総数	× 不明	○ 拡大係数から推計可

起終点間の「走行経路」を把握できるものの、「車両重量」を把握することができない。一方、全国道路・街路交通情勢調査の自動車起終点調査（以下「道路交通センサス OD 調査」という。）では、「車両重量」について「走行時の積載重量」などを把握できるものの、「走行経路」を把握することができない。ただし、1 日の輸送経路の起点、終点、立寄り箇所、利用した高速道路インターチェンジ名など、「走行経路上の点に関する情報」を把握でき、これらの情報から走行経路を推計することが可能である。しかも道路交通センサス OD 調査は母集団推計用の拡大係数が設定されているため、検討対象エリアにおける全ての車両を対象にした検討を行うことができる。これに対し上記のプローブ情報では、1 つの車両の経路が何台の車両の経路を代表するかが不明である。これらのことから「道路交通センサス OD 調査」をデータソースとする。そして、この調査で得ら

れた「車両重量」と「走行経路上の点に関する情報」から推計する走行経路を上記の研究目的 1-1、1-2 及び 1-3 の分析に用いる。

道路ネットワーク上の走行経路を推計する方法は、これまで多くの研究で提案されている<sup>22) 23) 24) 25) 26)</sup>。しかし、構造物の疲労損傷への影響が大きい大型貨物車は、特に「折進のしやすい交差点」を選択するなど、一般的な車両とは経路選択行動が異なると考える。このため研究目的 0 として次を掲げる。

**研究目的 0 大型貨物車の経路選択特性を考慮した経路選択モデルを構築する。**

## 「Ⅱ.基礎データの関連付け」について

重量データと位置データとを関連付ける施策のメリットは、車重計を配置していない区間においても交通荷重情報の収集を可能にすることである（図 1-7 左）。当然のことながら、両データを関連付けない場合、交通荷重を把握できるのは車重計が配置されている区間のみに限られる（図 1-7 右）。もし、あるエリアにおいて両データを関連付ける場合と関連付けない場合とで「交通荷重情報の収集量」に大きな差がないのであれば、両データを関連付けることの意義は小さい。つまり、このエリアでは上記の施策を実施する意味がない。このため、両データを関連付けることで交通荷重情報の収集量がどれだけ増加するかを評価する必要があると考える。この評価を行うことは同時に、「構造物毎に計測装置を設置して交通荷重情報を収集する手法を扱う既往研究（2.5.1 参照）」に対する本研究の有効性を示すことになる。そこで研究目的 2 として次を掲げる。

**研究目的 2 重量データと位置データとを関連付けて交通荷重情報を収集する方法の有効性を検証する。**

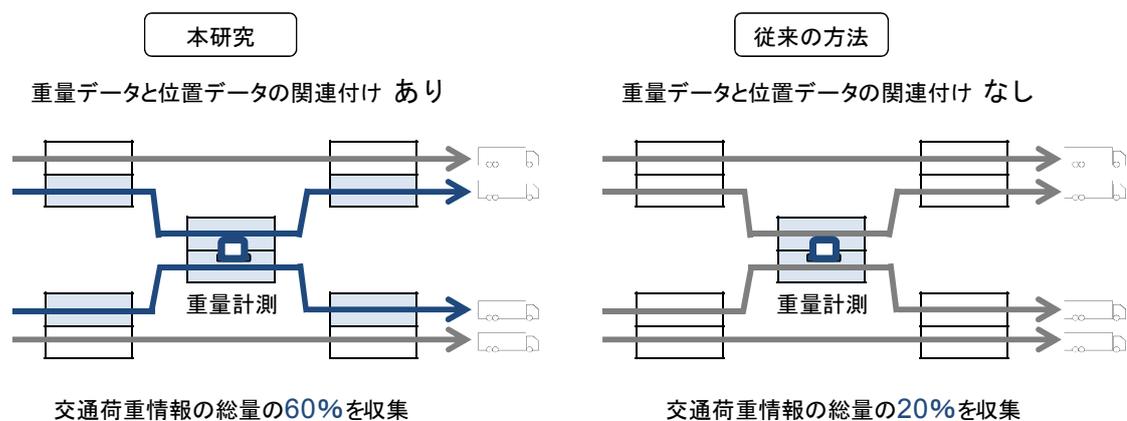


図 1-7 交通荷重情報収集のイメージ

以上を整理すると図 1-8 のとおりとなる。

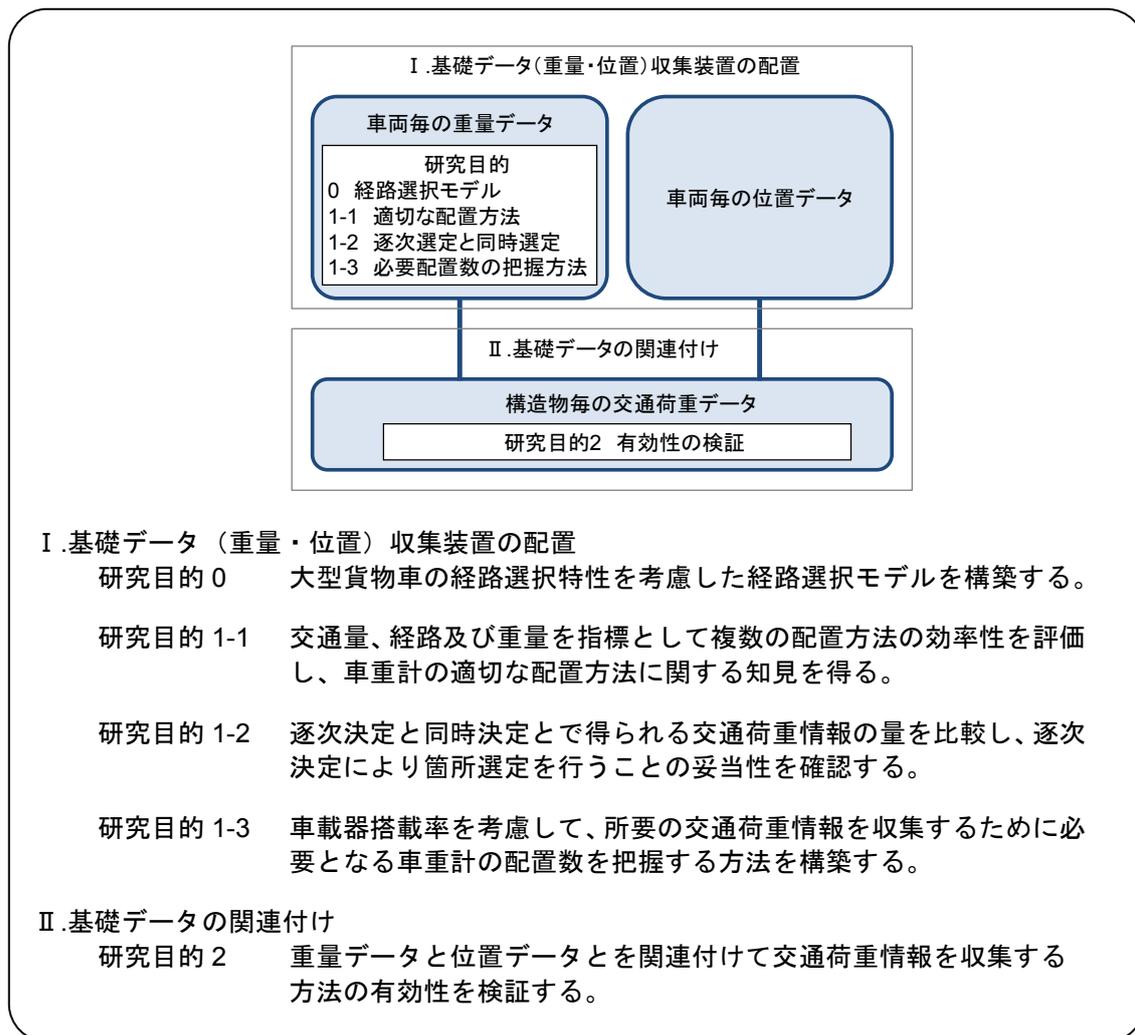


図 1-8 研究の目的

本研究で提案する方法を用いることで、広域な道路ネットワーク上に存在する道路構造物それぞれにおいて一定期間に蓄積される交通荷重（以下「累積交通荷重」という。）を把握することができる（図 1-9）。これを、図 1-10 に示すように点検頻度や点検手法を選定する際の基礎情報の一つとして活用することができる。例えば、累積交通荷重が小さい構造物については、必要最小限の点検（5年に1度、近接目視による点検）を行い、累積交通荷重の大きい構造物については、高い頻度（1年に1度等）で詳細な方法（近接目視、打音、触診、超音波検査、X線検査等）を用いて点検を行うことなどが想定される。

これらの結果、人的・費用的制約の中で、構造物毎の必要性に応じた頻度や手法によるメリハリのある点検を実施することが可能になる。延いては、異常を早期に的確に発見し、最適なタイミングで補修を行うことにより、道路ネットワーク上の構造物の健全

度を全体として最適に保つことができるという効果が期待される。以上のことから、本研究の意義は大きいと考える。

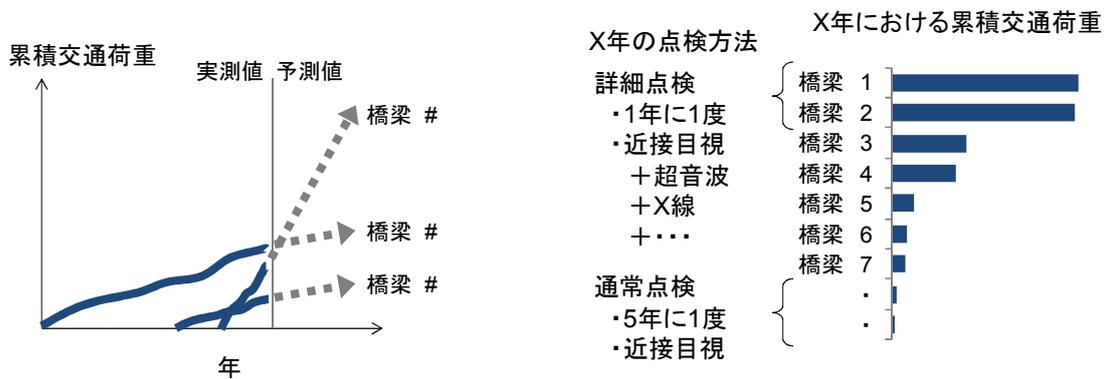


図 1-9 構造物毎の累積交通荷重の把握

図 1-10 累積交通荷重に応じた点検方法

### 1.3 対象範囲

#### 1.3.1 対象とする車両

貨物車は表 1-3 のように分類することができる。平成 22 年度道路交通センサス OD 調査で得られた車種別のトリップ数<sup>9</sup>を合わせて示す。本研究では、道路構造物の損傷に与える影響が大きい大型の貨物車に着目し、これらの交通荷重情報の収集方法を扱う。このため、最大積載重量 5 トン以上の「普通貨物車」及び「特殊車 (2.2.1 参照)」を分析対象とする。これらの車両が 1 日に行うトリップの数は、貨物車全体の 8.09% (6.52%+1.57%) を占める。

表 1-3 貨物車の車種別トリップ数 (全国)

車種		トリップ (千/日)	構成割合	
小型車	軽貨物車	18,959	48.89%	
	小型貨物車	8,464	21.83%	
大型車	最大積載重量：5 トン以上	2,528	6.52%	
	普通貨物車	最大積載重量：5 トン未満	4,807	12.40%
		最大積載重量：不明	104	0.27%
	特殊車	最大積載重量：5 トン以上	608	1.57%
		最大積載重量：5 トン未満	2,891	7.45%
		最大積載重量：不明	418	1.08%
計		38,779	100.00%	

<sup>9</sup> トリップ数：目的を持った 2 地点間の移動の総称。自社から倉庫まで荷物を輸送し、自社に戻る場合、トリップ数は「自社→倉庫」、「倉庫→自社」の 2 となる。

### 1.3.2 対象とする道路

道路は表 1-4 のように分類される。このうち本研究は、道路法の「一般国道（自動車専用道路を除く）」及び「都道府県道」を対象とする。なお、高速道路<sup>10</sup>は高速のサービスを提供するために高速道路会社<sup>11</sup>や地方道路公社<sup>12</sup>等による高度な管理が行われていることから対象としない。港湾法の「臨港道路」は港湾地区において国際海上コンテナ車などの走行に対応した管理が行われていることから対象としない。

表 1-4 道路の種類

道路の種類	根拠法令	所管官庁
高速自動車国道	道路法、高速自動車国道法	国土交通省（旧建設省）
一般国道 都道府県道 市町村道	道路法	
園路	都市公園法	
臨港道路	港湾法	
林道	森林法、森林・林業基本法	農林水産省
農道	土地改良法	
漁港施設道路	漁港漁場整備法	
鉱山道路	鉱業法	経済産業省
私道、里道	なし	—

### 1.3.3 対象とする道路構造物

道路構造物は大きく次の4つに分類される：①舗装、②橋梁、③トンネル及び④土工構造物。このうち本研究は、交通荷重に起因する損傷が問題となる「①舗装」及び「②橋梁」を対象とする。ただし「④土工構造物」に含まれるカルバート<sup>13</sup>のうち、図 1-11 に示すような橋梁に近い機能を有する大規模なもの<sup>28)</sup>は「②橋梁」として扱うことで本研究の分析対象とする。



（出典 国土交通省<sup>27)</sup>）

図 1-11 大規模カルバート

<sup>10</sup> 「高速自動車国道法で規定する高速自動車国道（館山自動車道等）」及び「道路法で規定する自動車専用道路（圏央道や東京アクアライン等の一般国道の自動車専用道路）」並びに「これらと同等の規格及び機能を有する道路」

<sup>11</sup> 高速道路株式会社法（2004年法律第99号）に定める、道路関係4公団を民営化した次の6つの株式会社：東日本高速道路株式会社（NEXCO 東日本）、中日本高速道路株式会社（NEXCO 中日本）、西日本高速道路株式会社（NEXCO 西日本）、本州四国連絡高速道路株式会社（JB 本四高速）、首都高速道路株式会社及び阪神高速道路株式会社。

<sup>12</sup> 地方道路公社法に基づき地方公共団体が設立する公社。常陸那珂有料道路等を管理する茨城県道路公社など33の地方道路公社がある（2015年6月時点）。

<sup>13</sup> カルバート：道路の下を横断する道路、水路等の空間を確保するために、盛土又は原地盤内に設けられる構造物。

## 1.4 論文の構成

1.2 で示した目的を達成するために、本稿は図 1-12 に示す章構成で論じる。

2 章では、まず貨物車の走行に関する規則や走行実態、これに起因する道路構造物の損傷、道路構造物の維持修繕の現状など本研究に関連する基本的事項を整理する。さらに、交通荷重の把握に位置データを活用する際の課題と対応策を提案する。最後に既往研究や国外における取組をレビューして本研究の特徴を示す。

3 章では 4 章で行う「検討対象エリアにおける車両の走行経路の推計」を行うために必要となる「大型貨物車の経路選択特性を考慮した経路選択モデルの構築(研究目的 0)」を行う。

4 章では「I. 基礎データ収集装置の配置」について設定した以下の 3 つの事項を目的とした分析を行う。

○車重計の適切な配置方法についての知見を得ること(研究目的 1-1)

○逐次決定による箇所選定の妥当性を確認すること(研究目的 1-2)

○車重計の必要配置数の把握方法を構築すること(研究目的 1-3)

上記のような配置方法を研究するには、まず「検討対象エリアにおける全ての大型貨物車の重量と走行経路」を推計しておく必要がある。これを行うことで、どこに車重計を配置すると、どれだけの量の車両を捕捉でき、交通荷重をどれだけ把握できるようになるかを推計することが可能になる。このためまず 4.2 から 4.4 で上記の推計を行う。

4.2 において基礎条件を設定し、分析に必要な道路ネットワークデータ及びトリップ OD データを作成する。4.3 では、3 章で構築する経路選択モデルを用いて、検討対象エリア内の全ての車両の走行経路を推計する。4.4 では、個々の車両の重量を対応する経路に与えることにより、走行経路上の交通荷重を算定する。そして 4.5、4.6 及び 4.7 では、4.4 までで推計した走行経路及び交通荷重を用いて、上記の研究目的 1-1、1-2 及び 1-3 を達成するための分析を行う。

5 章では「II. 基礎データの関連付け」について設定した「重量データと位置データとを関連付けて交通荷重情報を収集する方法の有効性の検証(研究目的 2)」を行う。まず 5.2 では重量データと位置データとを関連付けて交通荷重情報を収集する方法を示す。5.3 では、この方法を用いて累積交通荷重を算定する手順を示す。最後に 5.4 では、4 章で推計した「検討対象エリアにおける全ての大型貨物車の重量と走行経路」を用いて、本研究で提案する方法、つまり重量データと位置データとを関連付けて交通荷重情報を収集する方法の有効性を示す。

最後に 6 章で全体の総括を行う。6.1 では本研究で得られた知見と新規性を示し、6.2 では実務への適用を念頭に本研究の技術的な課題と今後必要と考える研究事項を述べる。

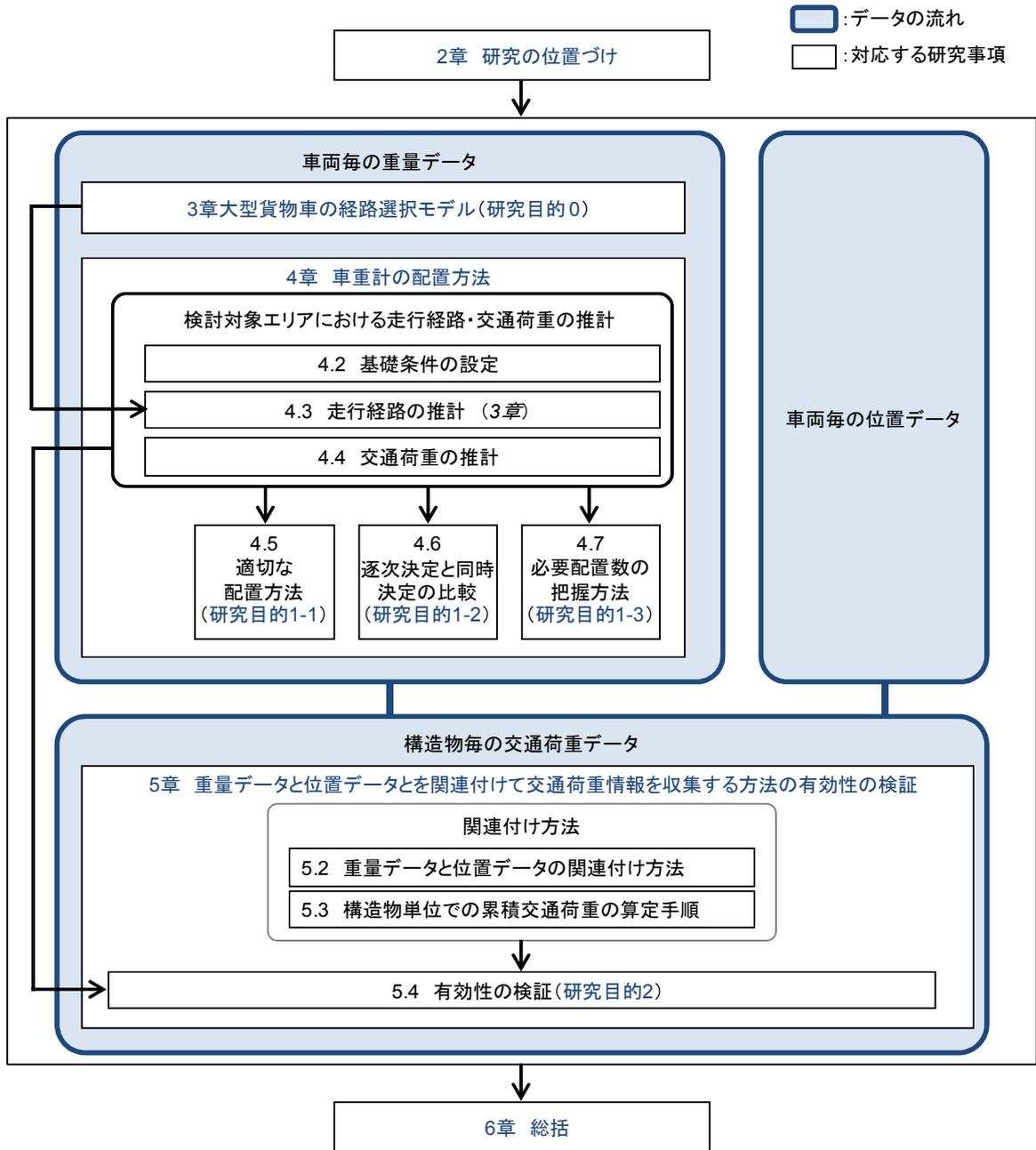


図 1-12 本稿の構成

## 第2章 研究の位置づけ

### 2.1 本章の目的と構成

本章は、本研究の特徴と位置づけを示すことを目的とする。まず 2.2 では、貨物車の走行に関する規則や走行実態、これに起因する道路構造物の損傷、道路構造物の維持修繕の現状等、本研究に関連する基本的事項を整理する。2.3 では重量データを収集する現在の取組みを整理する。2.4 では位置データ収集の現在の状況を整理した上で、交通荷重の把握に活用する際の課題と対応策を提案する。2.5 では本研究に関連する既往研究をレビューし、この中での本研究の位置づけと特徴を示す。また、国外においても重量車両の走行に起因する道路損傷が問題となっており、重量車両の走行経路を監視したり、車両重量と走行距離に応じて課金したりするなどの対応を行っている。そこで 2.6 では、国外での主な取組事例をレビューし、特に重量や走行経路を把握する技術に着目して、本研究で提案する交通荷重情報の収集方法の特徴を示す。

### 2.2 大型貨物車走行及び道路構造物の現状

#### 2.2.1 走行車両に関する規則と走行実態

表 2-1 車両制限令による一般的制限値

車両の諸元	一般的制限値
幅	2.5 メートル
長さ	12.0 メートル（一部の車両は 17 メートルまたは 18 メートル） <sup>14</sup>
高さ	3.8 メートル（指定道路：4.1 メートル）
総重量	20.0 トン（指定道路：前後輪軸の距離に応じて 20.0～25.0 トン）
軸重	10.0 トン（一部の車両は 11.5 トン <sup>29)</sup> ） <sup>15</sup>
隣接軸重	隣り合う車軸の距離に応じて 18.0～20.0 トン
輪荷重	5.0 トン
最小回転半径	12.0 メートル

道路を走行する車両に関する規則及び走行実態を概観する。道路法の道路（表 1-4 参照）は、一定の規格の車両が安全、円滑に走行できるように造られており、表 2-1 に示すように走行車両の大きさや重さの最高限度（以下「一般的制限値」という。）が車両制限令で定められている<sup>16</sup>。なお、高速道路や道路管理者が指定する道路（指定道路）で

<sup>14</sup> 国際海上コンテナ車両などは 17m。

45 フィートコンテナ車両などは 18m（2015 年 6 月より）。

<sup>15</sup> 国際海上コンテナ車両に加え、バン型等セミトレーラ連結車についても駆動軸重の制限値が 11.5 トンに緩和された（2015 年 6 月より）。

<sup>16</sup> 車両制限令のほか、「道路運送車両の保安基準（道路運送車両法）」及び「道路交通法」による規定がある。

は一般的制限値が緩和されている（高さ：3.8m→4.1m、総重量：20.0トン→前輪軸と後輪軸の距離に応じて20.0～25.0トン）。

この一般的制限値を超える車両（以下「特殊車両」という。）は、道路の構造又は交通に支障を及ぼす恐れがあるため原則として通行できない。しかし、「新幹線車両」や「建設機械」のように分解できないものを輸送することが必要となる場合がある（図2-1）。このため「特殊車両通行許可制度<sup>31)</sup>」が設けられている。これは、道路管理者が車両の構造や車両に積載する貨物の特殊性を審査し、やむを得ないと認める場合に表2-2に示す通行条件を付して車両の通行を許可するものである。



（出典 i 北陸<sup>30)</sup>）

図2-1 新幹線車両の輸送<sup>17)</sup>

表2-2 特殊車両の通行許可条件

	重量についての条件	寸法についての条件
a	徐行等の特別の条件を付さない。	同左
b	徐行及び連行禁止を条件とする。	徐行を条件とする。
c	徐行、連行禁止及び当該車両の前後に誘導車を配置することを条件とする。	徐行及び当該車両の前後に誘導車を配置することを条件とする。
d	徐行、連行禁止及び当該車両の前後に誘導車を配置し、かつ2車線内に他車が通行しない状態で当該車両が通行することを条件とする。道路管理者が別途指示する場合はその条件も付加する。	個別に協議

例えば、重量に関する通行許可条件がbとなる車両は、2台以上で同時に橋や高架道路などの同一径間を走行することが禁止される。同条件がcとなる車両は、カーブや交差点などを通過する際に誘導車を前後に配置することが求められる。

2013年度の特殊車両通行許可申請を車両台数ベースで整理したものを表2-3に示す<sup>32)</sup>。年間で100万台以上の申請があり、このうち国道が77.8%を占めている。

表2-3 特殊車両の許可状況（2013年度）

（出典 国土交通省道路局・平成25年度道路交通管理統計）

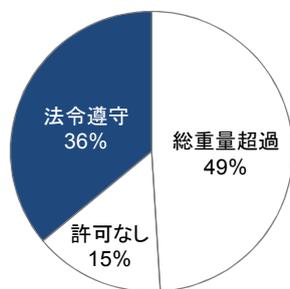
道路管理者	①受理台数	②許可台数 <sup>18)</sup>	②/①	②の構成割合
国	870,923	837,574	96.2%	77.8%
都道府県	159,753	157,323	98.5%	14.6%
政令市	83,249	81,931	98.4%	7.6%
計	1,113,925	1,076,828	96.7%	100.0%

<sup>17)</sup> 北陸新幹線W7系車両を金沢港から松任の白山総合車両所まで国道8号などを利用して輸送（2014年4月）。

<sup>18)</sup> 許可期間は68%の車両が2年間、残りの車両は1年間。

車重計を通過した総重量 20 トン以上の車両について、重量違反の実態を調査した結果を図 2-2 に示す<sup>33)</sup>。法令を遵守して走行している車両は 36%に過ぎず、一般的制限値を超えるにもかかわらず特殊車両通行許可を受けずに走行したり、許可を受けても通行許可条件を遵守せずに走行したりする車両が多い。

このため国土交通省は「道路の老朽化対策に向けた大型車両の通行の適正化方針」<sup>34)</sup>を 2014 年に策定し、悪質な違反者には厳罰化する方針を示した。また 2015 年 2 月からは「車両の総重量の最高限度の 2 倍以上の重量<sup>19)</sup>」の特殊車両を通行させた場合には、一度の違反でも告発の対象とすることとした。最近では、総重量の一般的制限値 20 トンを大幅に超過する 82.05 トンの状態で「建設車両を輸送する重機運搬車両 (図 2-3)」を走行させたとして、運転手と雇用主の運送会社が道路法違反罪で刑事告発<sup>20)</sup>されている (2015 年 6 月)<sup>35)</sup>。



(出典 国土交通省<sup>36)</sup>)

図 2-2 貨物車の重量違反の実態



(出典 東日本高速道路株式会社<sup>37)</sup>)

図 2-3 総重量違反車両 (82 トン)

### 2.2.2 重量車両走行の影響

これらの重量車両が走行することによって、舗装や橋梁の床版をはじめとする道路構造物は大きな損傷を受ける。例えば、「舗装が受けるダメージは荷重の 4 乗に比例して指数関数的に増加する」という、いわゆる 4 乗則が舗装の技術基準<sup>38)</sup>に示されている。橋梁については、荷重の大小による影響の違いが顕著である。松井ら<sup>39) 40) 41)</sup>や長谷ら<sup>42)</sup>は、供試体が破壊に至るまでの走行回数と載荷荷重せん断強度比との関係を実験により求め、橋梁が受けるダメージは荷重の 12 乗に比例することを示している<sup>21)</sup>。また、中谷らの研究<sup>43)</sup>や米国における研究<sup>44)</sup>では、荷重の 18 乗に比例することを示している<sup>22)</sup>。例えば、12 乗則を適用すると図 2-3 に示した総重量 82.05 トンの車両 1 台が走行する場合、

<sup>19)</sup> 特車許可車両は「基準重量×2+ (許可重量-基準重量)」以上の重量

<sup>20)</sup> 運転者は道路法第 103 条、雇用主は同法 105 条の規定。特殊車両の通行許可を受けずに違反を犯した者は 100 万円以下の罰金が科される。

<sup>21)</sup> 文献中には「12 乗」等という記述はないが、供試体が破壊に至るまでの走行回数 ( $N$ ) と載荷荷重せん断強度比 ( $S$ ) との関係を表す  $S-N$  線の傾きから次のとおり算定した。

$$\log(S) = -0.07835 \cdot \log(N) + \log 1.520 \quad \rightarrow \text{傾き } 1/0.07835 = 12.76$$

<sup>22)</sup> 同上：米国式  $\log(S) = -0.0557 \cdot \log(N) - 0.1737 \quad \rightarrow \text{傾き } 1/0.0557 = 17.95$

一般的制限値の車両1台が走行する場合の17万倍以上のダメージ<sup>23</sup>が橋梁に与えられる。

図2-4は、1ヶ月間に車重計を通過した車両(806,801台)について、軸重量のカテゴリ別に12乗則を適用して橋梁の「疲労損傷の影響度」を算定したものである<sup>24</sup>。軸重が一般的制限値10トン以下である車両は、全走行台数の80.9%を占めるものの、これらの車両による疲労損傷の影響度は1.7%に過ぎない。これに対し、軸重が20トン超の車両は、走行台数の構成比は0.02%であるものの、疲労損傷の影響度は73.7%となる。これは、少数の重量車両の走行が、道路構造物の損傷の大きな要因となっていることを表している。特に大型貨物車の交通量の多い高速道路では、重量超過車両の影響で損傷した橋梁床版の取り替え費用が、大規模更新事業費の9割を占めると試算されている<sup>45</sup>。

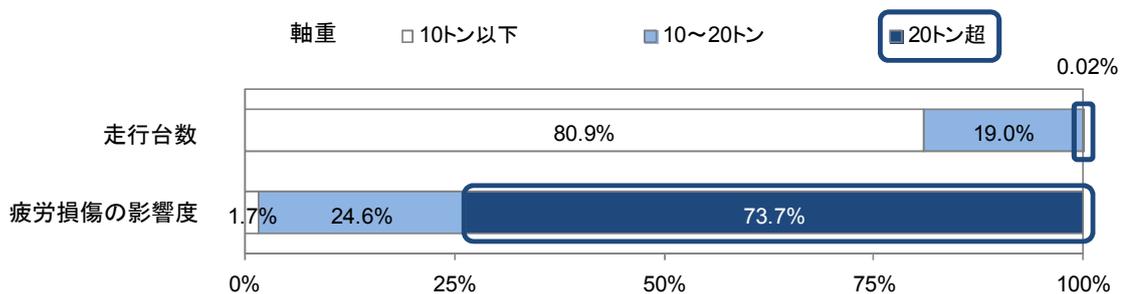
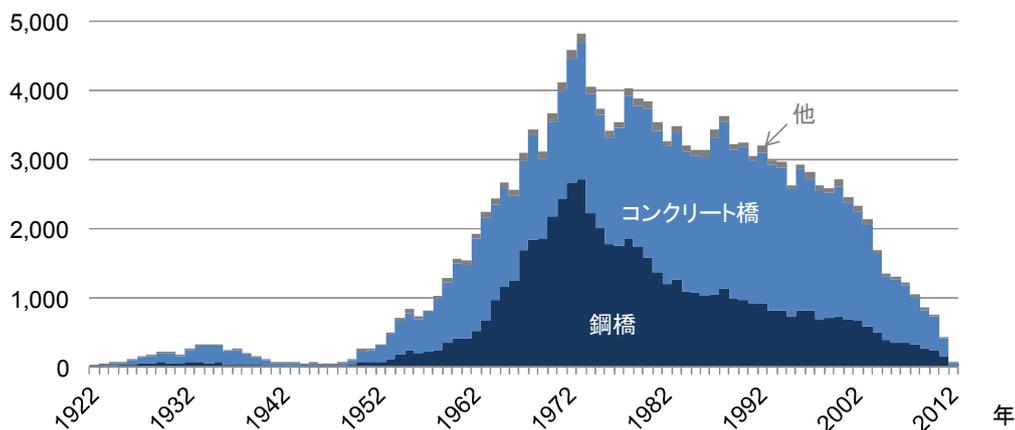


図2-4 「走行台数」及び「疲労損傷の影響度」の構成比(軸重量別)

### 2.2.3 道路構造物の老朽化と維持修繕費用の現状

道路構造物のうち、特に老朽化の著しい橋梁の現状を概観する。橋梁(橋長15m以上)の架設数の推移<sup>46</sup>を図2-5に示す。



(出典 道路統計年報<sup>47</sup>)

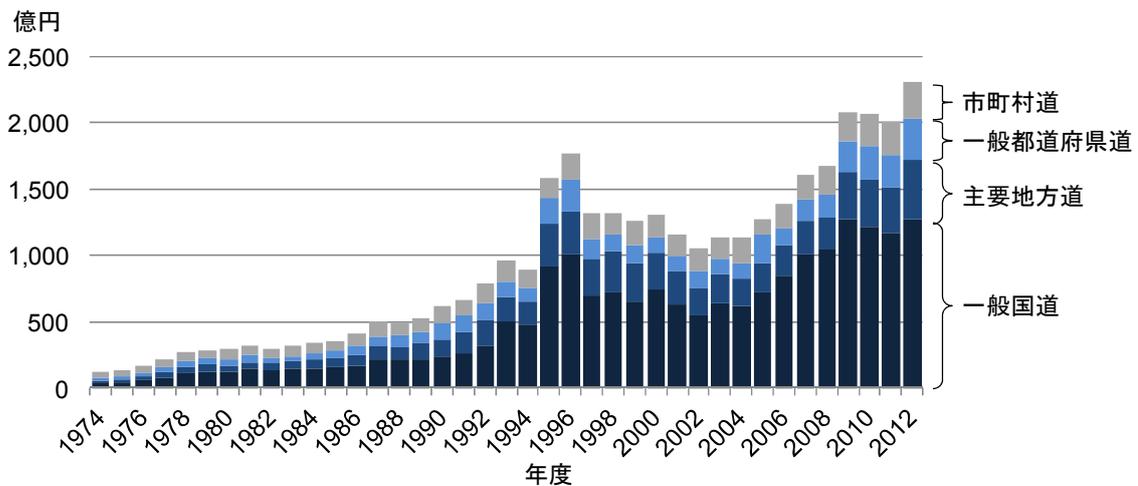
図2-5 橋梁の架設数(2012年4月時点)

<sup>23</sup> 総重量82.05トンと「総重量の一般的制限値20トン」との比の12乗で次のとおり算定した： $(82.05/20.00)^{12} = 173,905$ 。

<sup>24</sup> 各車両の軸重量を12乗則で「軸重量の一般的制限値10トン」の通過回数に換算し、軸重量のカテゴリ(「10トン以下」、「10トン超、20トン以下」、「20トン超」)で集計。

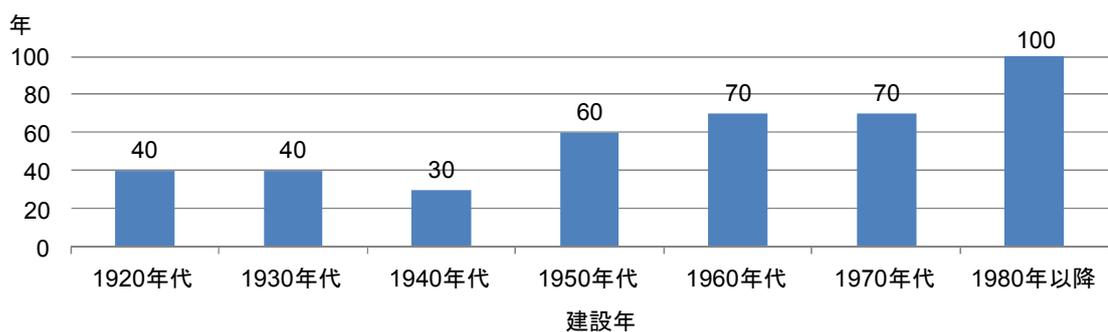
戦後の復興期から大量の橋梁が建設されはじめ、高度経済成長期には現存する橋梁の3割が建設された。特に1973年のピーク時(4,826橋)には2012年(45橋)の100倍以上の橋梁が建設されていた。このため、図2-6に示す橋梁の維持修繕費の推移を見ると、1974年(120億円)から2012年(2,310億円)の40年弱の間に約20倍になっている。

橋梁の架替え寿命を推計したものを図2-7に示す。近年建設された橋梁の寿命は100年程度である。これに対し、1950年代当時の基準に従って建設された橋梁の寿命は60年と推計されている。これらの橋梁が間もなく寿命を迎えることから、今後、架替えや大規模な修繕を行うための多大な費用が発生することが予測されている。



(出典 道路統計年報<sup>48)</sup>)

図 2-6 橋梁の維持修繕費用<sup>25</sup>

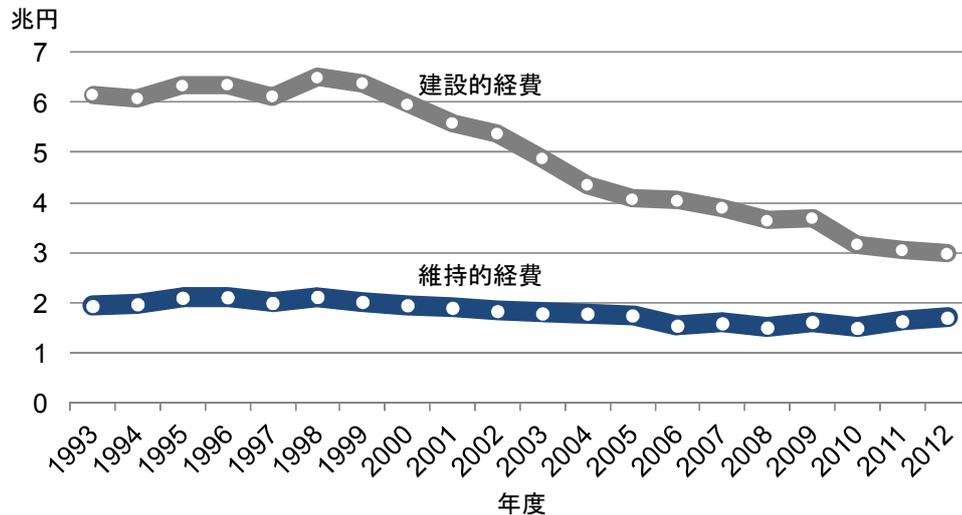


(出典 国土技術政策総合研究所<sup>49)</sup>)

図 2-7 橋梁の推計寿命

<sup>25</sup> 1995年度及び1996年度の費用が突出しているのは、1995年1月に発生した阪神淡路大震災で被災した橋梁の修繕費用の影響である。

図 2-8 は、橋梁も含めた道路投資全体の推移を「建設的経費」と「維持的経費」に分けて示したものである<sup>26</sup>。道路の新規整備などを行う「建設的経費」は減少を続けているのに対し、「維持的経費」は過去 20 年間でおおむね横ばいで推移しており、最近では増加傾向にある。また、国土交通省が行った試算<sup>27</sup>では、維持修繕・更新にかかる費用が 2033 年には 2013 年の 1.5 倍の 4.6～5.5 兆円になることが示されている<sup>50</sup>。



(出典 道路統計年報<sup>51</sup>)

図 2-8 道路の投資額

### 2.3 重量データ収集の現状

本節では、1.2 で示した交通荷重情報の基礎となる重量データを収集する現在の体制や技術的事項について、これまでの経緯も含めて整理する。

道路構造物の疲労損傷を防止するには、違法な重量超過車両を道路交通から排除することが重要である。このため、道路管理者と警察が協力して指導取締基地に車両を引き込み、重量違反の有無などの検査を定期的に行っている。指導取締基地とは図 2-9 に示すように道路脇に設けられたスペースで、引き込んだ車両の総重量や軸重量を計測する装置が設置されている。2014 年 4 月時点で、国道に 128 箇所、都道府県道に 13 箇所、市町村道に 1 箇所設けられている<sup>53</sup>。



(出典 国土交通省<sup>52</sup>)

図 2-9 指導取締基地

<sup>26</sup> 街路及び有料道路を除く。

<sup>27</sup> 次の条件で費用を試算。維持管理費：設備、構造物等の機能の維持のために必要となる点検・調査、補修・修繕などに要する費用。更新費：老朽化等に伴い機能が低下した施設等を取り替え、同程度の機能に再整備することなどに要する費用。

2013年度に実際された指導取締の結果を表2-4に示す。国が管理する直轄国道では、547回の取締を実施し、3,034台の車両を調べている。この結果、1,292台の車両が指導警告を、137台が措置命令<sup>28</sup>を受けた<sup>54</sup>。同表を見てもわかるとおり、予算や人員確保、また指導取締基地のスペースに限りがあることから、多くの車両を検査することができないという課題がある。

表2-4 指導取締の結果（2013年度）

(出典 国土交通省・平成25年度道路交通管理統計)

道路管理者	国	都道府県	政令市
実施回数	547	27	4
人員	6,085	454	86
時間	2,288	59	7
対象車両	3,034	143	63
違反車両	1,433	59	30
指導警告	1,292	55	18
措置命令	137	0	0
許可取消	0	0	0
刑事告発	0	0	0

そこで、国土交通省は図2-10に示す「車重計」を車道の本線上に設置し、走行車両の重量を常時計測する取組を始めた。2003年から2005年までに直轄国道の39箇所に車重計を配置し、2008年10月から本格的な計測を行っている。2015年に1箇所追加し、現在40箇所で運用を行っている<sup>56</sup>。設置費用は1箇所あたり約1.7億円<sup>29</sup>である<sup>57</sup> <sup>58</sup>。車重計は、通行許可申請（2.2.1参照）の手続きで収集した申請経路の情報を基に、効率的に重量車両を捕捉できる箇所に配置している。これにより、車重計を通過する全ての重量車両（総重量10トン以上）の総重量及び軸重量を把握することが可能である。

(出典 国土交通省<sup>59</sup>)

図2-10 車重計

<sup>28</sup> 指導警告は再発防止を指導すること。

措置命令は積載貨物の分割による重量の軽減や通行の中止等を命令すること。

<sup>29</sup> 車重計39基の設置費用（65億3707万円）より算定。この他、定期検査にかかる費用654万/年/基が必要となる（車重計21基の点検費用（2010、2011年度）2億7486万円より算定）。

## 2.4 位置データの課題と対応策

本節は、交通荷重の把握に位置データを活用する際の課題を示し、対応策を提案することを目的とする。まず 2.4.1 では、国及び民間で収集を行っている車両の位置データについて、その収集方法や取得情報について整理する。2.4.2 では、2.4.1 で示す位置データを用いた既往研究をレビューし、位置データから走行経路を把握することが可能であることを確認する。2.4.3 では「交通荷重の把握」という目的に照らした場合の位置データの課題を示し、2.4.4 ではこれへの対応策を提案する。2.4.5 では、位置データの普及状況についての現状と今後の予測などをレビューし、量の観点から位置データを交通荷重の把握に用いることの可否について考察する。

### 2.4.1 位置データ収集の現状

#### 2.4.1.1 国による位置情報の収集（ETC2.0 サービスデータ）

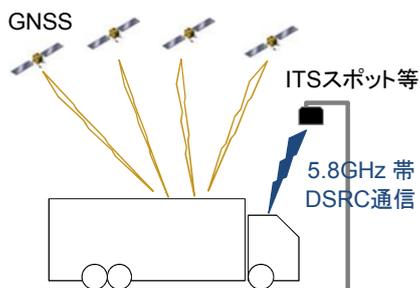


図 2-11 ETC2.0 サービスでの通信

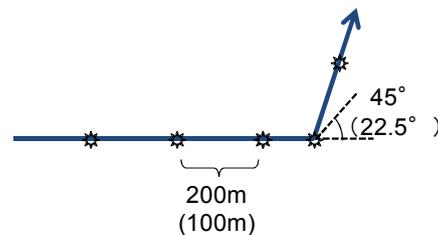


図 2-12 ETC2.0 車載器の情報蓄積

2004 年にスマートウェイ（知能道路）の実現に向けた「ITS、セカンドステージへ」と題する提言が、スマートウェイ推進会議（委員長：豊田章一郎・（社）日本経済団体連合会名誉会長）から国土交通省に提出された<sup>59)</sup>。これを受け産学官協力のもと路車協調システムの研究開発を行い、従来の ETC（電子料金収受システム：Electronic Toll Collection System）<sup>60)</sup>の機能に加え、「広域的な経路案内」、「前方の落下物の情報提供による安全運転支援」、「地域の観光情報提供」などを 1 つの車載器で行う「ETC2.0 サービス（ITS スポットサービス）」<sup>30)</sup>が 2011 年に開始された<sup>61)</sup>。ITS スポットとは、5.8GHz の周波数帯を使った狭域無線通信（DSRC：Dedicated Short Range Communication）による大容量の情報通信を車と双方向で行う路側に設置された施設である<sup>62)</sup>（図 2-11）。ETC2.0 サービス対応車載器は、GNSS により走行位置を特定する機能及び加速度を計測する機能を備えており、図 2-12 に示すように「200m（一部の車載器では 100m）走行した時点」や「45 度以上（一部の車載器では 22.5 度以上）進行方向が変化した時点」で、表 2-5 に

<sup>30)</sup> 2014 年 10 月に「ITS スポットサービス」から「ETC2.0 サービス」に名称変更。

示す位置情報が車載器に蓄積される。また、加速度が閾値を超えた時点で、同表に示す挙動情報が位置情報とともに蓄積される<sup>63)</sup>。

表 2-5 ETC2.0 サービスデータ項目

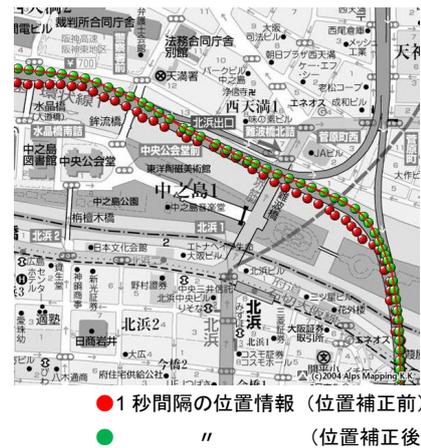
位置情報	挙動情報
・ 時刻	・ 進行方向（16 方位）
・ 緯度、経度	・ 速度（1km/h 単位）
・ 道路種別	・ 前後加速度、左右加速度（閾値 0.25G）
	・ ヨー角速度（閾値 8.5deg/s）

これらのデータは、車両が ITS スポットを通過する際にアップリンクされ、プローブ収集サーバーのデータベースに集約される。ただし、アップリンク許可、不許可はドライバーが選択する<sup>64)</sup>。また個人情報保護のため、エンジンの始動・停止箇所から一定距離の区間内で取得された情報は削除される。ただし、2016年1月から始まった「特殊車両通行許可簡素化制度（特車ゴールド）」<sup>65)</sup>を利用する車両が搭載する「業務支援用 ETC2.0（特殊用途用 GPS 付き発話型車載器）」では、こういった情報の削除は行われない。

ITS スポットは、都市部の高速道路は約 4km 間隔、都市間高速道路は 10～15km 間隔で約 1,600 箇所設置されている。その他、サービスエリアや道の駅等の休憩施設にも約 50 箇所設置されている<sup>66)</sup>。2014 年度には一般道にも 1,800 基の「情報収集のみを行う装置」が設置された<sup>67)</sup>。

#### 2.4.1.2 民間による位置情報収集（商用車運行管理サービス）

民間企業においても「商用車運行管理サービス」を通じて貨物車の位置情報を収集し、道路管理者や研究機関向けに販売を行っている。商用車運行管理サービスとは、商用車の配送効率の向上等を目的に輸送事業者等に提供されるサービスである。車載器やスマートフォン等の情報端末と、情報管理センター（車両の運行管理事業所やサービス提供事業者等）との間で携帯電話通信網によるデータ交換を行うことにより、輸送事業者の運行管理者等は自社の車両の走行位置等をリアルタイムで把握することができる<sup>68)</sup>。富士通株式会社による商用車運行管理サービスで収集した位置データの例を図 2-13 に示す。



出典 (株)富士通 TR・REC 研究所

図 2-13 位置データの例

現在、富士通株式会社の他にも、ISUZUの「みまもりくん」<sup>69)</sup>、株式会社日立ソリューションズの「e-trasus (イートラス)」<sup>70)</sup>、日野自動車株式会社の「ひのこんぱす」<sup>71)</sup>、株式会社システックの「ロジこんぱす」<sup>72)</sup>、日本通運の「オペレーション支援システム」<sup>73)</sup>等、多数の企業が運行管理サービスの提供を行っている。最近では、取得したデータを車載器に蓄積するのではなく、随時データをアップロードしてネットワーク上で一括管理するタイプのサービスが増えてきている。例えば、富士通株式会社では2010年からクラウド型の運行管理サービスを行っている。各車両は同社製のデジタルタコグラフを車内に設置し、SaaS (Software as a Service) 型<sup>31)</sup>の運行管理用のシステムを通じてサービスの提供を受ける。ここでは走行車両の位置、速度に加え、貨物庫内の温度や運転挙動に関する情報を3G携帯電話網により収集しクラウドセンターのサーバーに蓄積している。これから、1秒間隔の位置情報、速度情報及び加速度情報(上下、前後、左右)を抽出し、販売用に加工したデータベースを作成している<sup>74)</sup>。位置情報は、GNSSで取得した緯度・経度情報をデジタル道路地図(DRM)<sup>75)</sup>にマップマッチングすることにより補正を行っている(図2-13参照)。速度情報は、車軸の回転数より算定しており<sup>76)</sup>、走行位置の時間差から算定される速度情報に比べて精度が高い。

#### 2.4.2 位置データによる走行経路把握の可能性

1.2で述べたとおり、本研究は車両の位置データから走行経路を特定し、この経路上の構造物にかかる交通荷重を把握する方法を提案するものである。このため、まず位置データから走行経路を特定することが可能であることを確認する必要がある。そこで本節では、前節で示したETC2.0サービス及び商用車運行管理サービスで取得する位置データを用いた既往研究をレビューし、上記の確認を行う。

2013年以降、ETC2.0サービスの位置データを用いて大型貨物車の走行経路の把握を試みる研究がいくつか見られるようになった。金澤ら<sup>77)</sup>は博多港の配送拠点から九州各地の家電量販店へ共同配送を行っている車両20台を実験車両とした官民共同実験を行い、ETC2.0サービスで収集する位置データから個々の車両の走行経路の特性を分析している。鈴木ら<sup>78)</sup>はETC2.0サービスの位置データを用いて実験車両の首都高速道路一環状国道間の走行経路を推計し、「許可経路(特殊車両通行許可申請で通行が許可された経路)」と照合することで「許可経路以外を走行する違反車両」を判定する手法を提案している<sup>79)</sup>。

商用車運行管理サービスの位置データから作成した走行経路を用いた研究も多数行われている。柳木ら<sup>80)</sup>は、東日本大震災前後の走行経路の変化を分析している。例えば、宮城県を拠点とする企業が保有する貨物車の走行経路を東日本大震災前後で比較し、日本海側の道路が太平洋側の道路の代替路線として利用されている実態を明らかにしてい

<sup>31)</sup> ネットワークを介してソフトウェアをオンラインで利用するシステム。

る。また、秋田港を利用する企業が保有する貨物車の走行経路を分析し、震災後に秋田港を中継拠点として支援物資輸送が行われていた実態を明らかにしている。土屋ら<sup>81)</sup>は、貨物車の走行経路情報を活用して、道路の整備効果の分析を行っている。例えば、バイパス整備後に貨物車の走行経路が「市街地を通過する経路」から「整備されたバイパス」にシフトしたことを明らかにし、バイパスの整備効果を示している。また、200kmを超える長距離トリップを対象に、新東名高速道路の整備前後での貨物車の走行経路の変化についても分析を行っている。岡ら<sup>82)</sup>は、新潟港及び酒田港を起点とする貨物車の走行経路を特定し、道路種別毎の分担率等を分析する等、東北地方における貨物車の走行特性を明らかにしている。

上記のように位置データを活用して走行経路の特性を明らかにする研究などが多数行われている。このことから、ETC2.0 サービス及び商用車運行管理サービスで収集する位置データを活用して、個々の車両の走行経路や走行経路上にある構造物を特定することが可能であると考ええる。

### 2.4.3 位置データの課題

前項では、ETC2.0 サービス及び商用車運行管理サービスで収集する位置データを用いて個々の車両の走行経路を特定することが可能であることを述べた。しかし 2.4.1 で示したとおり、業務支援用 ETC2.0 車載器以外ではエンジンの始動・停止箇所から一定距離内で取得された情報は削除されるなど、構造物の交通荷重を把握するためにはいくつか課題があると考ええる。そこで本項では、「交通荷重の把握」という目的に照らした場合の位置データの課題を示す。

#### ①重量が変化する地点の特定

荷物の積み降ろしを行うと、その地点の前後の区間では積載重量が異なる。つまり車両が構造物に与える交通荷重が異なる。しかし、現在の位置データでは重量が変化する地点を特定することができない。

図 1-9 で示したように構造物単位で累積交通荷重を把握するためには、積載重量が変化する事象が発生した地点や時刻を位置データに付加する仕組みを導入する必要があると考ええる。

#### ②測位誤差

位置データは GNSS による測位情報を用いていることから、最大で 10m 程度の測位誤差が生じることがある。このため、高架上の高速道路の下に一般道が併走する区間だけでなく、側道としての一般道が高速道路に並行する区間では、正しく走行位置の特定を行うことができないという課題を築地<sup>83)</sup>や濱島<sup>84)</sup>が指摘している。走行速度から高速道路か一般道のどちらを走行していたかを判別することは可能である。しかし、都市高速

道路などでは時間帯によって一般道の速度を下回ることがあるため、この方法は万能ではない。

また、地下、掘割り、トンネルのように空が開けていない区間では、GNSS による測位情報を利用できない<sup>32</sup>。これに加えて都市部ではマルチパス<sup>33</sup>により GNSS の測位精度が低下するという問題を李ら<sup>85)</sup>が示している。

2.4.2 で示した研究のように、走行経路を大局的に把握することを目的にする場合には上記の課題はさほど問題にならないかもしれない。しかし、構造物毎に交通荷重を把握しようとする、より正確に走行区間を特定するための仕組みが必要であると考えられる。

### ③発着地周辺の情報

2.4.1.1 で示したように、ETC2.0 サービスデータではプライバシー保護のためにエンジン始動や停止した箇所から一定の距離の区間（メーカーにより 0.3～1km 程度）についての位置データが自動で削除されることになっている（業務支援用 ETC2.0 車載器を除く）。このため、大型貨物車が発着する物流施設の周辺の区間では交通荷重の値の精度が他の区間と比較して小さくなることが懸念される。

## 2.4.4 対応策の提案

前項では位置データを交通荷重把握の基礎データとして活用するための技術的な課題を示した。本項では、これら課題への対応策を提案する。

### ①重量が変化する地点の特定（「同一重量区間」の特定）

重量の変化地点を特定できないという課題に対し、走行経路上で重量が変化する地点を把握し、同一の重量で走行している区間（以下「同一重量区間」という。）を特定する方法を提案する。図 2-14 に示すように、商用車運行管理サービスの車載器は「荷積み」や「荷降ろし」等の車両重量が変化する事象が発生する時刻を記録する機能を備えている。この情報を位置データに加えることにより、同一重量区間の特定を行うことができる。一方、ETC2.0 サービス対応車載器にはこの機能がない。また、商用車運行管理サービスでも荷積・荷降ろしの有無が毎回正確に入力されるとは限らない。



（出典：富士通株式会社）

図 2-14 商用車運行管理サービス車載器

そこで、重量が変化する位置と時刻をより確実に把握する方法を考える。「トラックにおける運行記録計の装着義務付け対象拡大のための検討会（委員長：一般財団法人日本

<sup>32</sup> GNSS による測位情報を利用できない区間では、カーナビのジャイロセンサーなどから得られる情報を用いて自律的に走行位置を推定している。

<sup>33</sup> マルチパス：衛星からの電波がビルなどに反射して複数の経路で受信機に到達する現象。都市部における測位精度を低下させる最大の原因となっている。

自動車研究所所長 永井正夫)<sup>86)</sup>では、「運行記録計の普及・義務化ロードマップ(表 2-6)」が示され、「居眠りを検知して自動でブレーキを作動させる機能」など、ICT を活用した機能を次世代運行記録計に持たせることが検討されている(表 2-7)。

表 2-6 運行記録計の普及・義務化ロードマップ

<p>第1ステップ(2014年)「運行記録計の装備義務付け拡大」                  更なる交通事故削減のため、大型車と並び事故率の高い、車両総重量7~8トン(最大積載量4~5トン)の事業用貨物自動車に、運行記録計の装備を義務付ける。</p>
<p>第2ステップ(2015年)「次世代運行記録計についての検討」                  技術の急速な発展、運行管理に対するニーズの高度化、更なるコスト削減の要請等を踏まえ、今後求められる運行管理・支援機能を統合・拡充した「次世代型運行記録計」の実用化・普及加速に向けた検討を行う。</p>
<p>第3ステップ(2016年以降)「次世代運行記録計の装備拡大に向けた検討」                  上記の状況を見つつ、バス、タクシー等を含め、将来の「次世代型運行記録計」の普及促進を図る。</p>

表 2-7 次世代運行記録計に期待される機能

- ・急な疾患や居眠りを検知して自動でブレーキを作動させる機能
- ・アルコールチェック機能
- ・燃費計測機能
- ・IC 運転免許証の認証機能

そこで、これらに「荷台扉の開閉操作を検知する機能」を追加することを提案する。さらに扉の開閉操作後に車両を発進させる際、「荷物の積降ろしの有無」を車載器に入力することをドライバーに促すようにしておく(図 2-15)。これにより、積載重量が変化する位置と時刻を把握し、同一重量区間を特定することができるようになる。この機能は、扉の閉め忘れによる積載物転落の防止の効果も期待できることから実用性は高いと考える。



(出典 富士通株式会社の情報を一部加工)

図 2-15 積載重量が変化する位置と時刻を把握する方法

## ②測位誤差

富士通株式会社の運行管理サービスのデータでは、デジタコと ETC 車載器が連動している車両については、利用した IC から有料道路走行 or 一般道走行の判定を行っている。これに倣い、ETC2.0 サービスにおいても有料道路区間のインとアウトの情報を位置データに付加することで有料道路と一般道が併走する区間においては、正確な走行区間を判定することが可能になると考える。

また、地下区間やマルチパスによる課題に対しては、複数の道路（IC 等で高速道路の利用区間を特定できる道路を除く）の併走区間等に GNSS 固定局や狭域無線通信機器を路側に設置するなどして、衛星による測位情報以外の位置情報を用いて走行区間を特定する体制を整備することを提案する。

## ③発着地周辺の情報

発着地周辺の情報が削除されるという課題に対して 2 つの対応策を示す。1 つは消極的な対応策で、一定規模の物流施設周辺の道路区間を「交通荷重情報収集の対象区間」から除外するというものである。もう一つは積極的な方策で、一定規模の重量車両（例えば最大積載重量 10 トン以上等）の車載器を一般車の車載器とは別の設定にして、発着地前後での情報の削除を行わないようにするものである。疲労損傷の主要因となる大型貨物車については「プライバシー保護」より「公物の適正管理」の重要性が勝ると考え、オーストラリアの制度（2.6.1 参照）に倣い、ある程度の強制力を持って情報収集すべきであると考え。また、収集するデータの漏洩対策を徹底することに加え、位置データを「起点から終点までの一連の経路」でなく「区間（リンク）単位」の形式で管理することで、輸送事業者の理解を得ることができると考える。

### 2.4.5 位置データの量に関する考察

2.4.3 及び 2.4.4 では、位置データを交通荷重把握の基礎データとして活用するための技術的な課題と対応策を示した。一方、こういったデータの「質」に加え、十分な数のデータを実社会において収集できるのかといった「量」についても検討しておく必要がある。そこで本項では、ETC2.0 サービス及び商用車運行管理サービスの普及状況についての現状と今後の予測などをレビューし、位置データを交通荷重の把握に用いることの可否について量の観点から考察する。

ETC2.0 サービスについては、2015 年 12 月時点の対応車載器のセットアップ数<sup>34</sup>は約 89 万台<sup>87)88)</sup>である。これは同時期の ETC のセットアップ数<sup>35</sup>約 5,200 万台<sup>89)</sup>の 1.7%に留まる。しかしながら、社会資本整備審議会道路分科会国土幹線道路部会では「経路情報の安定的・効率的な把握が可能となる ETC2.0 の普及を促進する必要がある（2015 年 1

<sup>34</sup> セットアップ総数（961,954）から再セットアップ数（75,406）を引いて算出。

<sup>35</sup> セットアップ総数（70,216,042）から再セットアップ数（18,046,290）を引いて算出。

月基本方針案)」<sup>90)</sup>という方向性が示された。さらに「ETC2.0などのICTを有効活用して道路交通を効率的に常時かつ精緻に把握することが重要である(2015年7月中間答申案)」<sup>91)</sup>という指摘がなされた。これらを受け国土交通省は、2016年度より高速道路料金の大口・多頻度割引の最大割引率50%をETC2.0搭載車に限定して適用する方針を示した。さらに高速道路会社は、ETC2.0サービス対応車載器の購入費用を補助する方針を示した。これらのことから、今後ETC2.0サービスで位置情報を把握することが可能な車両は、ETCと同様に大幅に増加すると考える。

商用車運行管理については、例えば富士通株式会社では約1,500の運送事業者の5.8万台の車両にサービスを提供している(2015年)。これは、普通貨物車の保有台数(2,294,449台<sup>36)</sup>)<sup>92)</sup>の2.5%にあたる。サービス利用台数は年間2万台増加しており、2017年には10万台の貨物車がサービスを利用するようになることを同社が予測している。

また、「トラックにおける運行記録計の装着義務付け対象拡大のための検討会(2.4.4参照)」では、デジタルタコグラフ等の運行記録計の搭載を義務付ける対象を、従来の「車両総重量8トン以上」から「車両総重量7トン以上」の車両に拡大する方針が示されている。さらに、次世代の運行記録システムの拡大に向けた導入費用助成の検討を進める<sup>93)</sup>とされている。これらを背景に民間の経済研究機関<sup>94)</sup>は、商用車運行管理サービス等を利用する車両が2030年には400万台になることを予測している<sup>95)</sup>。これは、国土交通省が推計した「2030年の貨物車保有台数(670万台<sup>37)</sup>)」<sup>96)</sup>の60%にあたる。

以上に示したとおり、大型貨物車の車載器搭載率が60%まで増加することが予測されていることから、量の観点でもETC2.0サービス及び商用車運行管理サービスで取得する位置データを交通荷重の把握に用いることができると考える。

<sup>36</sup> 2014年12月末時点。自家用及び営業用の合計値。牽引車(96,366台)を含む。

<sup>37</sup> 自家用及び営業用の合計値。普通貨物車及び小型貨物車の合計値(軽貨物車は除く)。

## 2.5 関連する研究の中での本研究の位置づけ

2.5.1 では「道路構造物の交通荷重を把握する方法」に関する研究を、2.5.2 では3章で構築する「大型貨物車の経路選択モデル」に関する研究を、2.5.3 では4章で扱う「施設配置」に関する研究を整理し本研究の位置づけと特徴を示す。

### 2.5.1 道路構造物の交通荷重の把握に関する研究

本研究は、道路構造物の疲労損傷の主要因である大型貨物車の交通荷重を把握する方法を扱う。これに関しては、図 2-16 に示すように車両が橋梁を走行する際の部材の応答を計測して間接的に交通荷重を推計する手法の開発が多数行われている<sup>97)98)99)100)101)</sup>。松井ら<sup>102)</sup>は、RC床版下面の開閉幅から重量を測定する手法を提案している。石尾ら<sup>103)</sup>は主げたのひずみ応答から、小塩ら<sup>104)105)</sup>及び森田ら<sup>106)</sup>は支点反力から重量を推計する方法を開発している。また、石井ら<sup>107)108)</sup>は、舗装設計用のデータ収集を目的に高速道路本線に設置された軸重量計を用い、東名高速道路の一部区間における交通荷重の特性を明らかにしている。

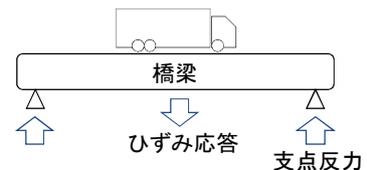


図 2-16 間接的な交通荷重把握のイメージ

しかし、複数の車両が同時に橋梁を通過する場合や混雑時の計測精度に課題があることを、鈴木ら<sup>109)</sup>や石尾ら<sup>110)</sup>が指摘している。また、これらの研究が対象とする計測装置では、舗装などの橋梁以外の道路構造物における交通荷重を把握することができないという課題がある。これに対して本研究は、車重計で直接計測する交通荷重を扱うことから、道路構造物の形態に拠らず、道路ネットワーク上の交通荷重を把握することが可能である。

また上記の研究では共通して「個々の構造物」に着目し、それぞれの構造物に設置する装置で交通荷重を把握する方法を扱っている。これに対し本研究は、道路ネットワーク上に存在する「構造物全体」に着目し、ネットワーク上の交通荷重を最小の装置で効率的に把握する方法を扱うものであり、交通荷重の把握という目的に対して既往研究とは異なるアプローチをとることを特徴とする。

### 2.5.2 大型貨物車の経路選択モデルに関する研究

大型貨物車の経路選択モデルに関する研究には、兵藤らの研究<sup>111)</sup>がある。この研究では、第4回東京都市圏物資流動調査<sup>112)</sup>における大型貨物車の走行経路調査の結果をもとに、走行区間が「重さ指定道路か否か」または「高さ指定道路か否か」を説明変数とした経路選択モデルを構築し、首都圏における道路整備の効果を評価している。秋田ら<sup>113)</sup>は、神戸港を発着するコンテナ車の近距離トリップを対象に、非集計ロジットモデルを用いて経路選択モデルを構築している。ここでは、説明変数を「所要時間」「費用」に加

え、「8時台までのトリップか否か」「コンテナを積載しているか否か」としている。また、大型貨物車の道路上の通行制約に関する研究に、柴崎の研究<sup>114)</sup>がある。この研究では、道路ネットワーク上で重量や高さの制約により通行できない箇所を整理し、通行制約が解消された場合の経済的効果を試算している。中野ら<sup>115)</sup>は、高速料金、時間、渋滞損失時間、重量及び空車ダミーを説明変数とする経路選択モデルを構築している。越智ら<sup>116)</sup>は、携帯電話のGNSSの位置情報からコンテナ車の走行実態を明らかにする研究を行っている。

これらの研究は、実際の走行経路に基づきモデルを構築しているものの、輸送の時間帯や積載物などを説明変数としている。しかし、車体の大きな大型貨物車は、幅の広い区間や折進のしやすい大きな交差点を選択するなど、道路構造を考慮して経路選択を行っていると考えられる。このため本研究は、輸送事業者へのヒアリング調査を実施して「経路選択に影響を与える道路構造要因」を特定し、これらを説明変数とする経路選択モデルを構築する。

道路構造に着目した経路選択モデルの研究には、萩野ら<sup>117)</sup>の研究がある。この研究では、説明変数を「時間価値」「重さ指定道路か否か」、「高さ指定道路か否か」、「折進障害のあるリンクか否か」とし、重複率最大化モデルで経路選択モデルを構築している。ところが、パラメータ推定に用いた経路情報は特殊車両通行許可申請時の経路データを用いており、申請経路と実際の走行経路が異なる可能性があるという研究上の課題を萩野らが指摘している。これに対し本研究では、上記のヒアリング調査で「通常の輸送時に利用している経路」を把握し、この経路情報から経路選択モデルのパラメータ推定を行う。さらに、「商用車運行管理サービスで得られる実際の走行経路」と「経路選択モデルで推計する経路」との重複率を分析するなど、既往研究には見られない手法を用いてモデルの有効性の確認を行う。

### 2.5.3 施設の配置方法に関する研究

「起点と終点を固定したトリップ」を対象にした施設の配置方法に関する研究には、2つのタイプがある。1つは商業施設等の「需要型の施設」を対象とし、施設の位置に応じて利用者が経路を変更することを前提とした研究である。もう1つは広告等の「捕捉型の施設」を対象とし、施設の位置によって経路が変わらないことを前提とする、いわゆるカバリング型の問題を扱う研究である。

前者には、通勤の途中で立ち寄る託児所の配置方法を扱った研究<sup>118)</sup>がある。この研究では、託児所に立ち寄るために必要となる追加的な所要時間の総和を最小にする配置方法を提案している。斎藤ら<sup>119)</sup>は、仮想的な円形都市を用いて、競合店舗が既に配置されている状況で、客数を最大にするための最適な新規店舗の配置方法を提案している。鈴木<sup>120)</sup>は、東京都市圏パーソントリップ調査<sup>121)</sup>の大ゾーン24ゾーンを対象に、職住割

当問題とフロー需要施設配置問題を合成した問題として、都市内の流動を最小化すると同時に利用者の移動距離を最小化する拠点配置問題を定式化している。また、鈴木<sup>122)</sup>の研究では、一次元都市モデルと三角格子状ネットワークを用い、迂回距離の総和を最小にする施設の配置方法モデルを扱い、その最適配置の基本的特性を明らかにしている。

後者には、危険物輸送車の調査箇所の配置方法に関する Hodgson による研究<sup>123)</sup>がある。この研究では、他の走行車両への影響を小さくするという観点から、より起点に近い箇所で車両を捕捉するほうが有利であるという条件で、捕捉可能な車両台数を最大にする配置方法を提案している。Hodgson による別の研究<sup>124)</sup>では、道路ネットワーク上に広告を設置する箇所を選定する問題を扱っている。この研究では、同一のドライバーが経路上で目にする広告の数に応じて広告の設置効果が大きくなることをモデル化して、広告の効果を最大にする配置方法を提案している。田中、古田による研究<sup>125)</sup>では、大都市交通センサス<sup>126)</sup>で得られた通勤流動に関するデータを用い、京王電鉄の6路線69駅を対象に、広告を設置する鉄道駅を選定する方法を扱っている。この研究では、駅毎に異なる施設の設置コストを設定し、一定の資金制約下で設置される施設により捕捉することが可能な利用者数を最大にする配置方法をモデル化している。

本研究では、後者の Hodgson らが提案しているカバリング型の施設配置問題を基本に、これの応用として車重計の配置方法を扱う。既往研究では、ネットワーク上に配置される施設により捕捉することが可能な車両や鉄道利用者の数に着目し、これらを最大にする配置方法を検討している。これに対し本研究は、捕捉する車両の台数そのものでなく、捕捉する車両のトリップに着目し、トリップの走行距離やトリップ上の交通荷重といった複数の指標を用いて、車重計の配置方法の効率性を定量的に示すことを特徴とする。

また、ネットワーク上の施設の最適配置を検討する際、施設での捕捉対象(車両や人)がネットワーク上をどのように動いているかを正確に推計することは重要な事項であると考え。ところが意外にも、捕捉対象の流動を明示的に扱った研究はほとんど見られない。例えば、上述の危険物輸送車の調査箇所の配置計画を扱う Hodgson の研究では、全ての車両が OD ペア間の最短距離経路を走行するとして最適配置問題を解いている(図 2-17 左)。捕捉対象を普通車とする場合は、簡易的に最短距離経路や最小時間経路を用いても問題ないかもしれない。しかし危険物輸送車は、事故遭遇の可能性の小さい道路区間を走行するなど距離以外の要因を加味して道路ネットワーク上を走行していると考え。また、普通貨物車と小型貨物車を対象にした物流ターミナルの最適配置問題を扱う谷口<sup>127)</sup>や山田ら<sup>128)</sup>の研究では、同じ配分手法を用いてこれらの車両の流動を推計している。車体の大きな普通貨物車は、端末集配用の小型貨物車とは異なる経路選択特性を有すると考えるが、上記の研究ではこのことが考慮されていない。

これに対し本研究は、大型貨物車の経路選択特性を反映したモデルを推定する。そして、これを用いて推計する走行経路を対象に施設の配置方法を扱う(図 2-17 右)。さ

らに、上記の Hodgson の研究をはじめとする多くの既往研究では、OD ペア間の走行経路は1つに留まる。これに対し本研究では、「容量制約付きの5段階の分割配分法」を用いることでOD ペア毎に最大5経路を設定する。この際、大型貨物車以外の車両も道路ネットワーク上で同時に扱い、これらによるリンク速度の低下も考慮することとする。これは、既往研究で疎かにされていた「捕捉対象の流動特性」に着目して配置問題を検討しようとする新たなアプローチであり、今後の最適配置の研究における基礎データ（捕捉対象の流動）の位置づけや設定方法に示唆を与える意義があると考えられる。

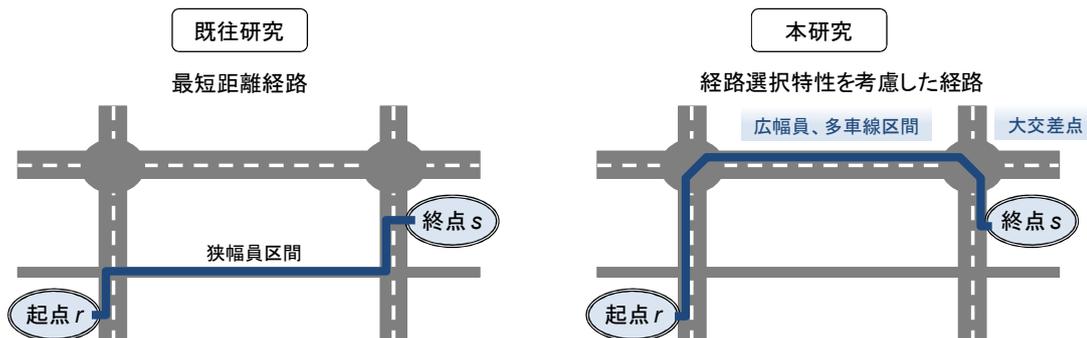


図 2-17 配置方法の検討で用いる経路のイメージ

## 2.6 国外における関連施策との比較

日本と同様に国外でも重量車両による道路構造物の損傷が課題となっており、これへの対策が取られている。本節では国外における主な取組事例をレビューし、特に重量や走行経路を把握する技術に着目して、本研究で提案する交通荷重情報の収集方法の特徴を示す。

### 2.6.1 オーストラリアにおける走行経路の監視

オーストラリアでは、重量車両の走行に起因する道路の修繕費用の増大が課題となっており、この解決方策として IAP (Intelligent Access Program) が提案された<sup>130)</sup>。これは、「Model Legislation - Intelligent Access Program, Regulations 2006」を根拠法とし<sup>131)</sup>、道路管理者が重量車両の走行経路情報を収集して、道路利用について違法性がないかどうかを確認するプログラムであり、。以下、この制度の枠組み及び走行経路情報を収集する仕組みを示す。

IAPにおける主体（輸送事業者、道路管理者及びサービスプロバイダ）の関係を図2-18に示す。輸送事業者（Transport Operator）は、サービスプロバイダと契約を結び、料金をサービスプロバイダに支払い、IAPのサービスを通じて車両の走行経路情報をサービスプロバイダに提供する。車載器はサービスプロバイダから輸送事業者に貸与される。道路管理者は、IAPプログラムの基礎的な事項を定め、輸送事業者及びサービスプロバイダのIAPプログラムへの参加を認証する。交通認証局（TCA：Transport Certification Australia）は、連邦政府と州の代表で構成される組織で、サービスプロバイダの認可を行う。サービスプロバイダは、TCAにより公式認証を受けた機関であり、現在5社がIAPのサービス提供を行っている。図2-19に示すように、GNSSと車載機（IVU：In Vehicle Unit）により走行経路、時刻、速度の情報を収集し、各車両が許可された経路を正しく走行しているか、走行が禁止されている時間帯に走行していないか、規制速度を遵守しているかを確認し、違反がある場合には道路管理者に報告する。

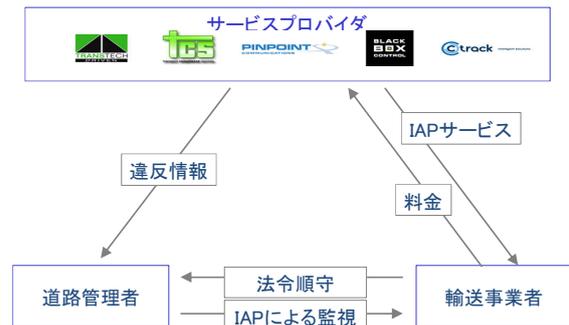


図 2-18 IAP の枠組み

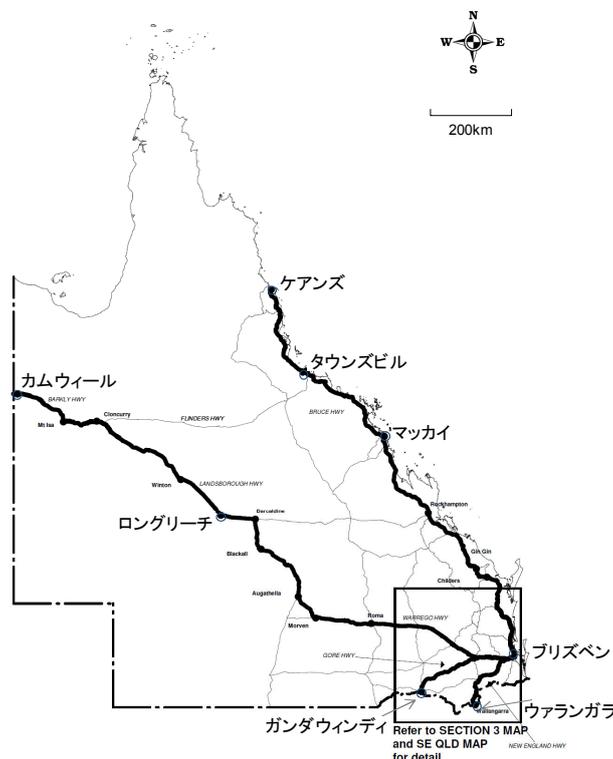


（出典 TCA<sup>129)</sup>）

図 2-19 走行経路の監視イメージ

以下、クイーンズランド州での IAP の実施事例を示す。同州は、道路構造物の損傷を最小限に抑え、道路構造物を保全すること等を目的として、州の交通部（Department of Transport and Main Roads）を実施主体として 2009 年 7 月に IAP を開始した<sup>132)</sup>。重量車両（HML : Higher Mass Limits）は IAP の参加が義務付けられている。その他の貨物車両の参加は任意である。重量車両を運行する輸送事業者は、インターネットで IAP に車両諸元を登録し、サービスプロバイダを選択する。サービスプロバイダから提供される IAP 車載器を車両に設置すると、道路管理者は対象車両についての IAP 登録を認証する。サービスプロバイダは、車両に設置された IAP 車載器の GNSS 機能により、車両の走行経路情報を収集する。各車両の重量は事前に登録されたカタログ値を使用している。

重量車両は、図 2-20 に示す「クイーンズランド州の主要道路網（Major Highway System）」及び「主要道路網の補助道路」で構成される道路ネットワークを走行することが許可されている。もし、指定走行経路を走行しなかったり、制限サイズ・重量を超過した車両を走行させたりすると、IAP サービスプロバイダは違反報告書（Non-Compliance Report）を作成して道路管理者に送付する。道路管理者は、違反報告書をもとに罰則を検討する。IAP 車載器に不具合がある場合、輸送事業者は直ちに IAP サービスプロバイダ及び道路管理者に連絡することが義務付けられている<sup>133)</sup>。



(出典 クイーンズランド州<sup>134)</sup>)

図 2-20 重量車両の指定走行経路

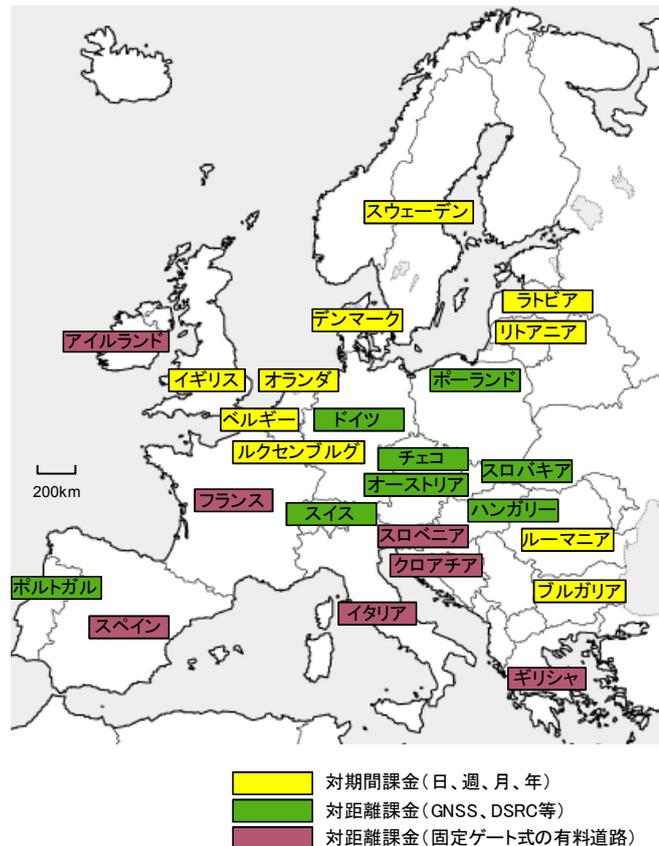
## 2.6.2 欧州における取り組み

1993年のEU（European Union：欧州連合）誕生後、欧州域内の重量車両の交通量が増加し、これらによる道路構造物の損傷等が問題となった。フランスやイタリア等、日本と同様に有料で高速道路を運用する国では、高速利用料金という形でインフラ損傷に見合った額を原因者に負担させることができる。一方ドイツ等の高速道路料金が無料の国では、国内で燃料を購入しない限りインフラ損傷に応じた額を徴収することができない<sup>136)</sup>。このため1995年にドイツ、オランダ、デンマーク、ベルギー、ルクセンブルク及びスウェーデンの6カ国は、一定期間内（1日、1週間、1ヶ月または1年）の道路走行に対する料金を徴収する「対期間課金制」を導入した。

その後いくつかの国は、期間でなく走行距離に応じた料金を徴収する「対距離課金制」に移行した。EU加盟国及びスイス<sup>38)</sup>における現在の制度を図2-21に示す。

2011年のEU指令<sup>137)</sup>では、インフラ費用(infrastructure charge)と外部費用(external-cost charge)の2つの性格を持つ料金を徴収してもよいとされている。インフラ費用とは「道路の新設、維持・管理及び更新（construction, maintenance, operation and development）にかかるコスト」、外部費用とは「交通に起因する大気汚染及び／または騒音（traffic-based air pollution and/or traffic-based noise pollution）にかかるコスト」を回収するための費用である。つまり、構造物だけでなく環境に対する負荷に対しても課金を行うという方針が明確に示されている。

以下、現在対距離課金制を導入している国のうちドイツ、スイス、オーストリア及びチェコを対象に、制度の概要と重量情報や走行位置を把握する技術を示す。



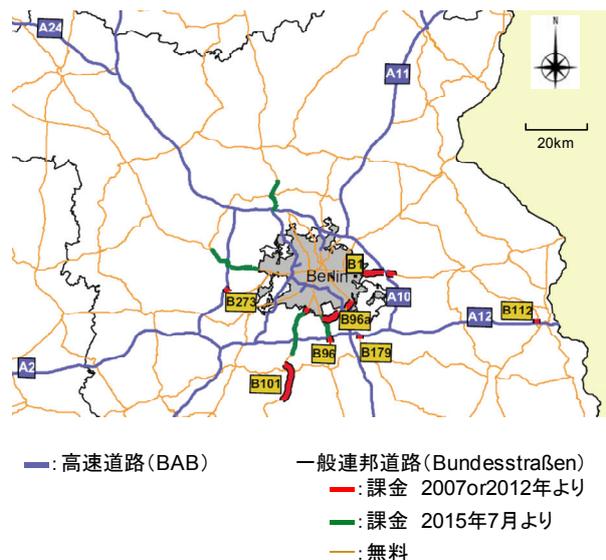
（出典 European Commission<sup>135)</sup>）

図 2-21 欧州における課金制度（2015年）

<sup>38)</sup> スイスはEU加盟国ではないが、EUと協議・調整しながら各種制度を実施している。

## 2.6.2.1 ドイツ

ドイツは 2005 年に対期間課金制から対距離課金制に移行した。これは「大型貨物車に関するアウトバーン課金法（2011 年まで）」及び「連邦長距離道路課金法（2011 年以降）」を根拠法とするものである。高速道路のみを課金対象としていたが、高速道路を避けて一般道を利用する車両が増えたことが問題となり、一般道路（Bundesstraßen）の 4 車線区間の一部を 2007 年から課金対象とした<sup>139)</sup>。2015 年 7 月には 1,100km を追加し<sup>140)</sup>、現在 2,235km の一般道路区間で課金を行っている。ベルリン周辺の課金対象区間を図 2-22 に示す。



(出典 Verkehr und Mobilität<sup>138)</sup>)

図 2-22 対距離課金区間の例

課金対象車両は、車両総重量<sup>39)</sup>が 12 トン以上の貨物車で、これらには GNSS 機能と狭域無線通信機能を備えた車載器 (On-Board Unit) が無料で提供される。課金対象車両 (約 942,000 台) の 76.5% (約 721,000 台) が車載器を搭載している (2012 年 6 月時点)<sup>141)</sup>。国外の車両等で課金対象道路を利用する頻度が少ない車両は、車載器を搭載しなくてもよい。ただしこれらの車両は、走行予定の経路や課金額の算定に必要な車両の情報 (「車軸数」及び「排出ガスクラス (EURO Emmission Class)」<sup>40)</sup>) をインターネットや情報端末で事前に登録する必要がある。情報端末は、ドイツ国内及び周辺国の給油所、サービスエリアなどに約 3,700 箇所設置されている<sup>142)</sup>。

車両の車軸数と排出ガス性能に応じて設定された「単位料金」に走行距離を乗じて課金額を算定している。2015 年 10 月に更新された単位料金を表 2-8 に示す。車軸数を車両重量を表す指標として用い、車軸数が多い車両ほどインフラ費用を高く設定している。

車載器は、GNSS 機能で測定する車両の位置情報をデジタル道路地図 (digital road map) にマップマッチングさせ、車両が走行したセグメントを常時記録している。デジタル道路地図は、課金対象の道路だけでなく、その左右 250m 以内を並行する一般道路を収録している。そして、これらの道路を 5,300 のセグメントに分けて管理している<sup>143)</sup>。

<sup>39)</sup> 最大積載重量の貨物及び最大定員が乗車した状態の重量。

<sup>40)</sup> EURO Emmission Class : EU 圏内統一の排出ガス規制基準。EU 域内での新車の販売時期に応じて次のとおり設定されている : EURO3 : 2000 年 10 月、EURO4 : 2005 年 10 月、EURO5 : 2008 年 10 月、EURO6:2013 年 12 月。

表 2-8 ドイツの対距離課金額 (km あたり)

(出典 ドイツ Toll Collect の web ページの掲載情報<sup>144)</sup>を一部加工して作成)

走行距離(km)あたりセント (ユーロ)

排出ガスクラス Emmission Class	大気汚染費用 Costs for air pollution	車軸数	インフラ費用 Costs for infrastructure	計
A 最良 Euro 6	0.0	2	8.1	8.1
		3	11.3	11.3
		4	11.7	11.7
		5以上	13.5	13.5
B 良 EEV 1, Euro 5	2.1	2	8.1	10.2
		3	11.3	13.4
		4	11.7	13.8
		5以上	13.5	15.6
C 中 Euro 4, Euro 3+	3.2	2	8.1	11.3
		3	11.3	14.5
		4	11.7	14.9
		5以上	13.5	16.7
D 悪 Euro 2	6.3	2	8.1	14.4
		3	11.3	17.6
		4	11.7	18.0
		5以上	13.5	19.8
E 最悪 Euro 1, Euro 0	7.3	2	8.1	15.4
		3	11.3	18.6
		4	11.7	19.0
		5以上	13.5	20.8

注 タンデムの車軸は2軸、トライデムの車軸は3軸としてカウントされる

GNSS で測定する車両の位置情報には 10m の誤差が含まれる。このため、課金対象の道路と課金対象でない道路が近接して並行する区間や、距離の長いアンダーパス区間では、GNSS のみでは正確に走行しているセグメントを特定できない場合がある。このような箇所にはビーコンを高速道路上に設置し、狭域無線通信により走行位置を判定している。ビーコンは、常設式のものが 60 基、可搬式のものが 30 基用意されており、路上工事等での迂回交通にも対応できるようになっている<sup>145)</sup>。

高速道路上のガントリー300箇所では、車両が適正に料金を支払っているかどうかを確認している。まず、車両がガントリーに近づくと 3次元車両スキャナー (three dimensional vehicle scanner) で課金対象の車両 (総重量 12 トン以上) であるかをチェックする。課金対象車両である場合、さらに車載器が適正な利用状態にあるかを狭域無線通信を通じてチェックする。違反している場合、ガントリー通過時に撮影した車両のナンバープレート情報が連邦の貨物輸送を管轄する部局 (Federal Office for Goods Transport) に送付される<sup>146)</sup>。車載器で算定する課金額が一定額に達すると、携帯電話ネットワークシステム (GSM) を通じて料金管理センター (Toll Collect computing center) に請求額が自動送信される。貨物車の運行管理者はこれに応じた金額を納める<sup>147)</sup>。

### 2.6.2.2 スイス

スイスは、2001年より Heavy Vehicle Fee (HVF) という車両総重量 3.5 トン超の貨物車を対象にした対距離課金を行っている。これは Federal Law for the Distance-related Heavy Vehicle Fee を根拠法とするものである。欧州では唯一、高速道路 (1,358km) に全ての一般道 (幹線道路 18,492km 及び地方道路 51,446km)<sup>149)</sup>を加えた全道路を課金対象にしている。車両の排出ガスクラス毎に定められた単位料金に、走行距離だけでなく車両重量を乗じて課金額を算定している。ここでの車両重量は走行時の計測値でなく、事前に登録された「最大車両総重量 (permissible gross total weight)」である<sup>150)</sup>。デジタルタコグラフで走行距離を計測し、車載器 (図 2-23) に記録している。GNSS 及び狭域無線通信は車載器の機能の確認に用いている (ドイツのように車両の位置を特定する目的では使用していない)。走行距離の情報は、車載器に登録された車両重量及び排出ガスクラスの情報と合わせて、スイス税当局 (Swiss Custom Authority) にチップカードまたは電子送付により毎月初めに提出される<sup>151)</sup>。国外の車両は、100箇所ある国境の料金所 (border stations) で、入国時から出国時までの走行距離と車両重量に応じた料金を支払う。



(出典 Martin Ruesch<sup>148)</sup>)

図 2-23 スイスの車載器

### 2.6.2.3 オーストリア

オーストリアは、2004年より LKW-Maut という対距離課金を行っている。対象車両は車両総重量 3.5 トン超の全車両で、貨物車だけでなく旅客車も対象としている<sup>152)</sup>。対象道路は高速道路の全区間及び一般道の一部区間<sup>41)</sup>である<sup>153)</sup>。事前に登録された車両の軸数 (2 軸、3 軸 or 4 軸以上) 及び排出ガスクラスに応じた単位料金に走行距離 (重量は考慮しない) を乗じて課金額を算定している<sup>154)</sup>。走行距離は、「道路上に設置されたガントリー」と「車内に設置されたタグ (Go-Box)」との狭域無線通信で車両の位置を特定することにより算定している<sup>155)</sup>。これは日本の ETC レーンでの料金徴収と技術的に同じである。ただしオーストリアではゲート式の料金所が設置されていないためガントリー通過時に減速する必要はない。

### 2.6.2.4 チェコ

チェコは、2007年よりオーストリアと同様の技術を用いた対距離課金を行っている。対象車両は車両総重量 3.5 トン超、対象道路は高速道路及び一部の幹線道路<sup>42)</sup>である<sup>156)</sup>。

<sup>41)</sup> 高速道路：アウトバーン 1,700km (100%) 及び Schnellstraße 450km (100%)。

一般道：幹線道路 467km (幹線道路の 1.4%) 及び地方道 83km (地方道の 0.1%)。

<sup>42)</sup> 高速道路：546km (100%)、幹線道路：426km (幹線道路の 0.8%)

走行距離もオーストリアと同様に、ガントリーと車載器との狭域無線通信で特定する位置情報に基づき算定している。ただし、今後課金の対象道路を追加する際にドイツのようにGNSSを利用した方式を導入することが検討されている<sup>157)</sup>。

### 2.6.3 国外における取組との比較

前項までに示したオーストラリア及び欧州における大型貨物車の重量及び走行位置を把握する方法を図 2-24 に整理した。これらと比較することにより、本研究で提案する交通荷重情報の収集方法の特徴を示す。

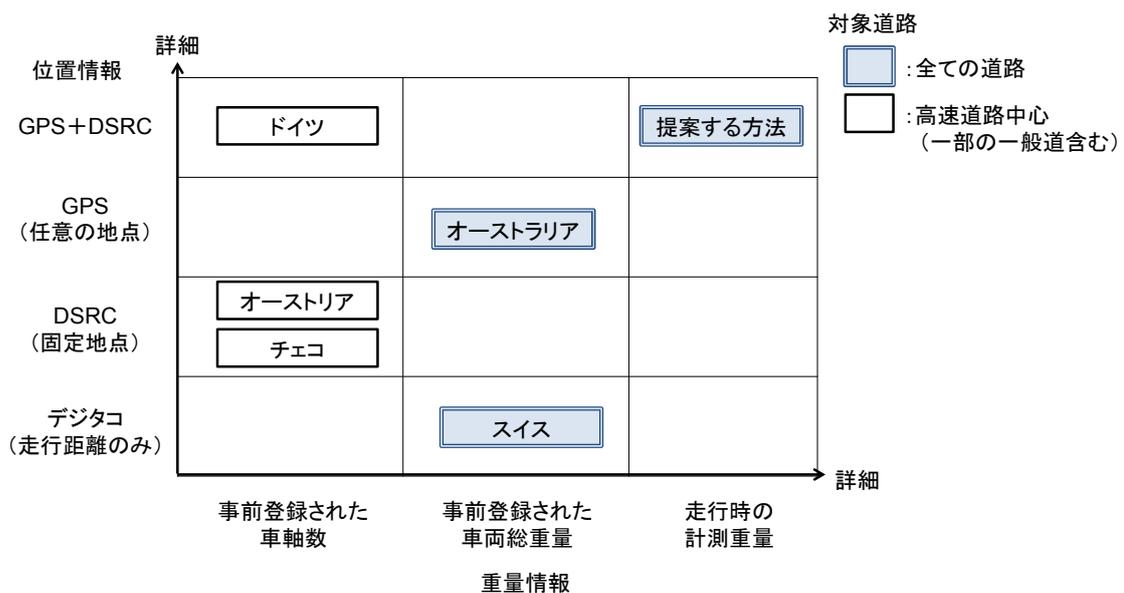


図 2-24 国外における制度で使用する重量情報及び位置情報

#### 2.6.3.1 重量情報

横軸は、各制度で使用する重量情報の内容を表す。オーストラリアの走行経路監視及びスイスでの対距離課金では、重量情報には「車両総重量」を使用している。ドイツ、オーストリア及びチェコでの対距離課金では、道路構造物へのダメージの大きさを表す指標として「車軸数」を使用している（表 2-8 参照）。ここでの重量情報は走行時の計測値でなく、事前に登録された値である。

しかし、空荷状態で走行している場合と、貨物を満載して走行している場合とでは、道路構造物が受けるダメージは異なる。このため本研究で提案する方法では「走行時の計測重量」を用いる。

#### 2.6.3.2 位置情報

縦軸は、位置情報を収集する技術とその内容を表す。青囲いで示すスイスの対距離課金及びオーストラリアの走行経路監視は、高速道路に一般道を加えた全ての道路を対象としている。このうちスイスでは、デジタルタコグラフによる走行距離の情報のみを収

集しており、走行位置については把握していない。オーストラリアでは、車載器のGNSS情報から車両の位置を特定している。

ドイツ、オーストリア及びチェコの対距離課金制度は、高速道路と一部の一般道のみを対象にしている。このうちオーストリア及びチェコでは、本線上にガントリーを設置して車載器との狭域無線通信により走行位置を特定している。ドイツでは、オーストラリアと同様に車載器のGNSS機能で車両の走行位置を特定している。これに加え、課金対象道路を含む複数の道路が並行する区間などでは狭域無線通信を併用している。対象とする道路は限られるものの、正確性の観点では上記5カ国の中でドイツが最も優れた体制で走行位置情報の収集を行っている。

日本では、高架上の高速道路の真下に一般道がある区間や、高速道路と側道が並行する区間が多数ある。このため本研究で提案する方法では、ドイツの対距離課金制度と同様に「GNSSによる情報」を基本とし、これに「狭域無線通信による補助的な情報」を組み合わせた位置情報を用いる（2.4.4 参照）。

#### 2.6.3.3 施策の目的

大型貨物車による道路構造物の損傷という共通の課題に対し、各国は異なる対応をとっている。欧州の対距離課金制度は、車両重量（車軸数）及び走行距離の情報を収集し、道路構造物の損傷に応じた料金を原因者に負担させようとするものである。これは、島国である日本やオーストラリアと異なり、外国籍車の通過交通の割合が大きいためである。オーストラリアの制度は、大型貨物車の走行位置を監視し、より強固に造られた道路に誘導することによって道路ネットワーク上の構造物を保全しようとするものである。

これに対し本研究は、経路誘導のような強制性の性格の強い施策とは逆に、「自然体で走行する貨物車」を対象とし、これらによる交通荷重を効率的に把握する方法を提案するものである。そして、この方法を用いて把握する「構造物毎の累積交通荷重」を点検・診断・維持修繕・更新のサイクルの最適化や工法選定に活用することで、道路ネットワーク上の構造物全体の健全度を最大にすることを目指すものである。ただしここでの成果は、国内での「一般道における大型貨物車の対重量・対距離課金」の検討や現在実施されている「適正経路への誘導施策」にも活用できると考える。これについては、6.2で述べる。

## 2.7 小括

本章では図 1-3 で示した「交通荷重の把握方法」に関連する既往の技術や研究、制度などについて整理を行った。2.2 では、貨物車の走行に関する規則や走行実態、これに起因する道路構造物の損傷、道路構造物の維持修繕の現状などを整理した。まず「荷重が橋梁に与えるダメージは荷重の 12 乗に比例して指数関数的に増加する」という 12 乗則を適用して走行車両の「疲労損傷の影響度」を算定・集計することにより、少数の重量車両が道路構造物損傷の大きな要因となっていることを明らかにした。また、橋梁の維持修繕費は過去 40 年弱の間に約 20 倍になり、さらに 20 年後には現在の 1.5 倍になるという国土交通省での試算結果などを示した。既存の構造物を健全に保ち、かつ必要な新規社会資本整備を計画的に行っていくためにも、構造物の適切な点検・異常の早期発見・予防保全型の維持修繕により、個々の構造物のライフサイクルコストを縮減することが重要であると考えた。2.3 では車重計による重量データ収集の現状を整理した。

2.4 では、交通荷重の把握に位置データを活用する際の課題と対応策の提案を行った。まず現在の位置データでは重量が変化する地点を特定することができないという課題を示した。この対応として、車載器に「荷台扉の開閉状態を検知する機能」及び「扉の開閉操作後に車両を発進させる際、荷物の積降ろしの有無を車載器に入力させる機能」を付加することで同一重量区間を特定する方法を提案した。また、GNSS 機能で測定する位置データでは、高速道路と一般道が並行する区間などで走行位置を正確に特定できないことがあるという課題を示した。この対応として、GNSS 固定局や狭域無線通信機器を路側に設置するなどして、衛星による測位情報以外の情報を用いて走行区間を特定することを提案した。さらに、プライバシー保護のために発着地周辺の情報を取得できないという課題を示した。この対応として、一定規模の重量車両の車載器を一般車の車載器とは別の設定とし、発着地周辺での情報削除を行わないようにすることを提案した。最後に、大型貨物車の車載器搭載率が 60%まで増加することが予測されていることなどを示し、位置データの「量」の観点でも ETC2.0 サービス及び商用車運行管理サービスで収集する位置データを交通荷重の把握に用いることができることを示した。

2.5 では本研究に関連する既往研究をレビューし、この中で本研究の位置づけと特徴を示した。まず「大型貨物車の交通荷重を把握する方法」に関して、橋梁通過時の部材の応答などに着目した既往研究が多数あるものの、複数の車両が同時に橋梁を通過する場合や混雑時の計測精度に課題があることや、舗装などの橋梁以外の道路構造物における交通荷重を把握できないという課題を示した。これに対して本研究は、車重計で直接計測する交通荷重を扱うことから、道路構造物の形態に拠らず、道路ネットワーク上の交通荷重を把握することが可能である。さらに本研究は、道路ネットワーク上に存在する構造物全体に着目し、ネットワーク上の交通荷重を最小の装置で効率的に把握する方法を扱うものであり、交通荷重の把握という目的に対して、個々の構造物に着目した

既往研究とは異なるアプローチをとるという特徴を示した。3章で扱う「大型貨物車の経路選択モデル」に関する研究には、出発時間や積載物などの輸送特性に着目した研究が多数見られるものの、本研究で対象とする車体の大きな大型貨物車については、道路幅員などの道路構造を考慮する必要があることを示した。また、道路構造を説明変数とする研究も見られるものの、モデルのパラメータ推定に用いた特殊車両通行許可申請時の経路データが実際の走行経路と異なる可能性があることを示した。これらに対する本研究の特徴として、輸送事業者から「経路選択時に考慮する事項」及び「通常の輸送時に利用している経路」についてのヒアリング調査から経路選択行動に影響を与える道路構造を明らかにし、さらにはヒアリングで把握した実際の走行経路情報に基づき経路選択モデルのパラメータ推定を行うことを示した。4章で扱う「施設の配置方法」については、広告等の「捕捉型の施設」を対象としたカバリング型の配置方法に関する研究が多く行われているものの、施設で捕捉できる数、例えば車両や鉄道利用者などを最大にする方法を扱うものが多いことを示した。これに対し本研究は、捕捉される車両の数でなく、捕捉される車両の起終点間の経路に着目し、経路上の走行距離や交通荷重といった複数の指標を用いて配置方法の効率性を定量化することにより、最小の車重計で最大の交通荷重情報を収集するための配置方法についての知見を得ることを目的とした分析を行うという特徴を示した。また、車重計の配置方法を扱うにあたり、捕捉対象の流動を正確に推計することは重要な事項であるにも拘わらず、これを明示的に扱った研究はほとんど見られないことを示した。これに対して本研究は、大型貨物車の経路選択特性を反映したモデルを推定し、これを用いて推計する走行経路を対象に施設の配置方法を検討するなど、既往研究であまり重要視されていなかった「捕捉対象の流動特性」を特徴的に扱うことを述べた。

2.6 では、重量車両による道路損傷への対応として国外で行われている重量車両の走行経路監視制度や、重量車両に対する課金制度をレビューし、車両の重量及び位置を把握する技術に着目した整理を行った。例えば重量については、スイスでは「車両の総重量」、ドイツ、オーストリア及びチェコでは「車軸数」を道路構造物へのダメージの大きさを表す指標として使用し、これと走行距離に応じて課金を行っている。また、オーストラリアの走行経路監視制度も含め、ここでの重量（または車軸数）は事前に登録された値であることを示した。これに対し本研究は、「走行時に計測する実際の重量情報」を用いることにより、空荷や満載状態などの積載状態に対応した交通荷重情報を用いるという特徴を示した。位置情報について、スイスの対距離課金制度では走行位置の特定を行わず、デジタルタコグラフで計測する走行距離に基づき課金を行っている。オーストラリアでは車載器のGNSS情報から、オーストリア及びチェコでは本線上のガントリーと車載器との狭域無線通信により走行位置を特定している。ドイツでは車載器のGNSS情報に加え狭域無線通信も併用し、複数の道路が並行する区間やアンダーパス区間でも正確に走行位置を判定することが可能となっており、正確性の観点では上記5カ

国の中で最も優れる体制で走行位置情報の収集を行っていることを示した。これらから、ドイツの位置情報収集体制に倣い、本研究で提案する交通荷重の把握方法でも「GNSS情報」と「狭域無線通信による補助的な情報」を併用して位置情報を収集する必要があるという示唆が得られた。

## 第3章 大型貨物車の経路選択モデル

### 3.1 本章の目的と構成

本章は 1.2 において「I.基礎データ収集装置の配置」について設定した「研究目的0：大型貨物車の経路選択特性を考慮した経路選択モデルを構築する」ことを目的とする。本章で構築する経路選択モデルは、次章での配置方法などの分析に必要な「検討対象エリアにおける全ての大型貨物車の走行経路」の推計に用いるものである。

1.3 で述べたとおり、本研究は「一般道」における交通荷重情報の収集方法を扱うことから、高規格幹線道路を除く一般道上の走行経路を推計するモデルを構築する。一般道は高規格幹線道路と異なり、特に「車道の幅」「交差点での折進のしやすさ」といった道路構造規格が大型貨物車の経路選択行動に与える影響が大きいと考える。そこで本章では、輸送事業者へのヒアリング調査から「経路選択行動に影響を与える道路構造」を明らかにし、さらにこの調査で把握する「通常の輸送時に利用している経路（以下「ヒアリング経路」という。）」に基づき経路選択モデルを構築する。

まず 3.2 では、ヒアリング経路上の道路構造規格の把握と、経路選択モデルのパラメータ推定に必要となる道路ネットワークデータを作成する。3.3 では、輸送事業者へのヒアリング調査の概要を示し、大型貨物車のドライバーが「経路選択時に考慮する事項」を明らかにする。3.4 では、3.3 の結果から説明変数を選定して経路選択モデルの定式化を行う。3.5 では経路選択モデルのパラメータを推定する。最後に 3.6 では、経路選択モデルの有効性を確認する。

### 3.2 道路ネットワークデータの作成

ヒアリング経路上の詳細な道路構造を把握するため、道路情報便覧<sup>158)</sup>に収録された情報をもとに道路ネットワークデータを作成した。道路情報便覧は、特殊車両の通行許可条件の判定に必要な道路構造について、次の情報を収録している：道路種別、車線数、区間長、幅員、曲線半径、上空障害に関する情報（トンネル内の外側線上の空間高さ等）、橋梁の制限重量、指定道路区分（重さ指定、高さ指定）、中央帯による分離の有無、交差点での折進のしやすさ等。対象は、車道幅員 5.5m 以上の道路及び特殊車両が通行する道路である。作成した道路ネットワークデータの概要を図 3-1 及び表 3-1 に示す。



図 3-1 道路ネットワークデータ

表 3-1 道路ネットワークの構成

道路種別	延長 km	リンク数	平均リンク長 km
高速自動車国道	3,149	744	4.23
首都高速道路	648	968	0.67
一般国道	19,055	20,758	0.92
主要地方道	21,904	22,686	0.97
一般都県道	10,180	11,506	0.88
指定市道	943	2,242	0.42
市町村道	5,627	10,136	0.56
計	61,505	69,040	0.89

図 3-2 に示すように、道路ネットワークデータでは、交差点内の全ての折進方向にリンク（以下「交差点リンク」という。）を設けた。交差点リンクには、表 3-2 に示す「車両分類 I の車両に対する通行許可条件」に基づき「折進のしやすさを表す指標（以下「交差点ランク」という。）」を設定した。例えば、ランク A の交差点は十分なスペースを有し、車両分類 I の車両は特別な通行許可条件を受けることなく折進することができる。なお、車両分類は図 3-3 のとおり車種と車長により規定され、一般的な 40 フィートコンテナ車（車長 16.5m 程度）は車両分類 I に属する。通行許可条件（表 2-2 参照）は、交差点を折進する際の走行軌跡をもとに、表 3-3 のとおり車両分類毎に設定されている。

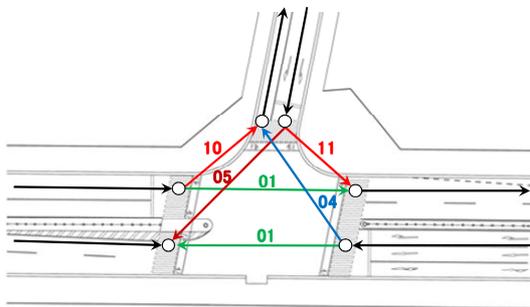


図 3-2 交差点リンクのイメージ

表 3-2 交差点ランク

ランク	通行許可条件（車両分類 I）
A	a. 特別な条件を付さない。
B	b. 徐行を条件とする。
C	c. 徐行及び当該車両の前後に誘導車を配置することを条件とする。
D	d. 個別協議

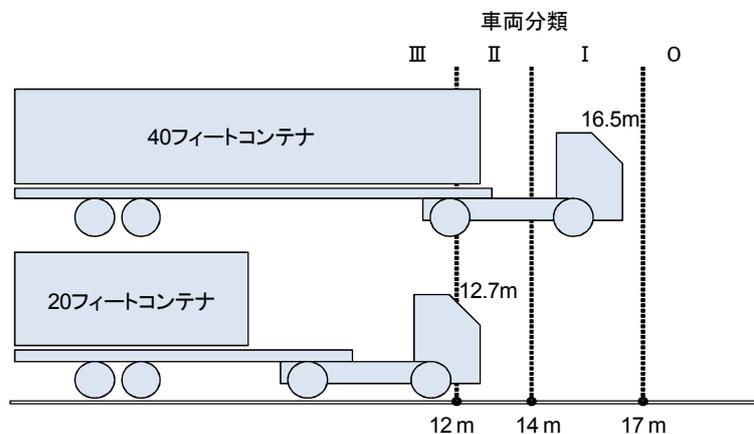


図 3-3 車両サイズと車両分類との関係（セミトレーラ）

表 3-3 折進軌跡と通行許可条件との関係

		01	04	05	06	07	08	09	10	11
交差点での 折進軌跡	車両分類 0	○	△	△	-	×	×	×	×	×
	車両分類 I	○	○	△	×	○	△	×	×	×
	車両分類 II	○	○	○	△	○	○	△	×	×
	車両分類 III	○	○	○	○	○	○	○	△	×
		↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
通行許可条件	車両分類 0	<i>a</i>	<i>c</i>	<i>c</i>	-	<i>d</i>	<i>d</i>	<i>d</i>	<i>d</i>	<i>d</i>
	車両分類 I	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>d</i>	<i>d</i>
	車両分類 II	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>d</i>
	車両分類 III	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>

走行軌跡○：対向車線を侵さずに折進できる  
 走行軌跡△：折進時に対向車線を侵す  
 走行軌跡×：対向車線を侵しても折進できない

### 3.3 経路選択に影響を与える道路構造の特定

#### 3.3.1 本節の目的と構成

本節は、大型貨物車の経路選択に影響を与える道路構造を特定し、経路選択モデルの説明変数を選定することを目的とする。3.3.2 では、大型貨物車の走行経路を把握するために実施した調査の概要を示す。3.3.3 では「経路選択時に考慮する事項」についての調査結果を示す。3.3.4 では、ヒアリング経路の構造規格を分析することで、経路選択特性を明らかにする。

#### 3.3.2 走行経路調査

2009年11月に実施した走行経路調査の概要を示す。まず、海上コンテナ輸送事業者名簿<sup>159)</sup>に収録されている事業所の中から、関東で海上コンテナ輸送実績のある152事業所を抽出し、挨拶状送付及び電話により調査協力を依頼した。協力すると回答のあった83事業所を訪問し、「関東1都6県の道路地図(A1判)」を配布し、「京浜港を起点または終点とする輸送を行う際に通常利用している経路」をドライバーに記入してもらった。結果、図3-4及び表3-4に示す経路情報が得られた。さらに、それぞれの経路について「経路選択時に考慮する事項(複数回答)」についても調査した。

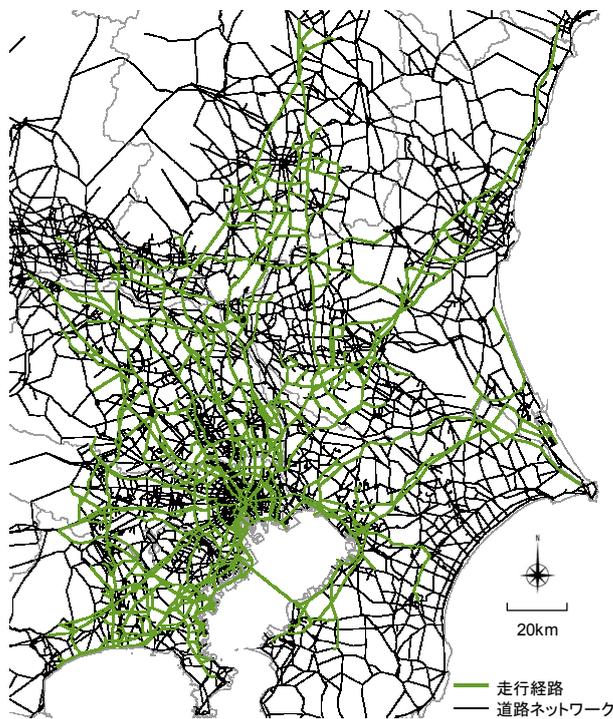


図 3-4 ヒアリング経路

表 3-4 ヒアリング経路

車種	経路数
40 フィートコンテナ車	617
20 フィートコンテナ車	273
貨物車 10 トン以上	66
貨物車 4～10 トン未満	12
貨物車 4 トン未満	10
計	978

### 3.3.3 経路選択時に考慮する事項

「経路選択時に考慮する事項」についての調査結果を図 3-5 に示す。ここでは道路構造に関するものを「●」、他を「○」で示している。大型貨物車のドライバーは「混雑状況」や「通行料金」より、「幅員、車線数」といった単路部での走りやすさを考慮する割合が大きいことが確認された。道路構造に関する事項では、「幅員、車線数」に次いで「交差点での折進のしやすさ」を考慮する割合が大きい。

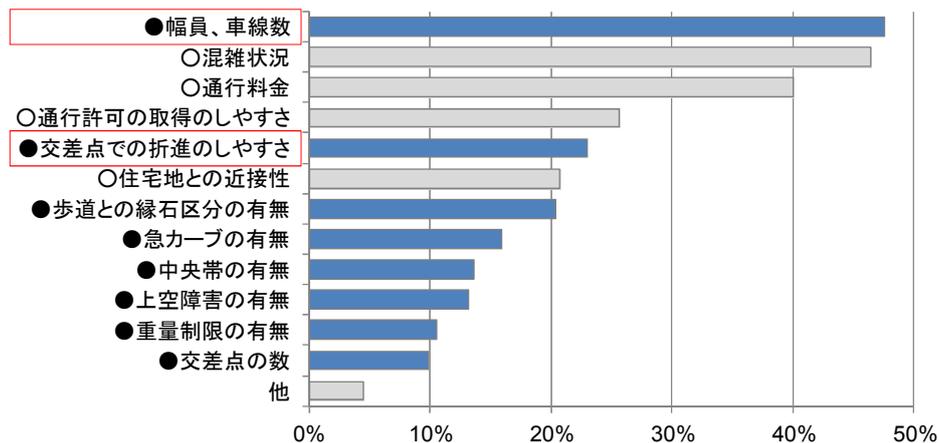


図 3-5 大型貨物車のドライバーが経路選択時に考慮する事項

### 3.3.4 ヒアリング経路の道路構造規格

前項では「経路選択時に考慮する事項」を聞き取ることにより「幅員、車線数」及び「交差点での折進のしやすさ」を考慮する割合が大きいことを明らかにした。そこで本項では、ヒアリング経路（図 3-4）を道路ネットワークデータ（図 3-1）と照合し、大型貨物車が通常利用している経路の「道路構造規格」を分析する。これにより、上記の傾向があるかどうかを確認する。

#### 3.3.4.1 道路幅員

40 フィートコンテナ車のヒアリング経路を片側車線数と道路幅員（1 車線区間のみ）別に集計し、前節で作成した道路ネットワークの延長と比較した。これを表 3-5 及び図 3-6 に示す。片側 3 車線以上の区間は、道路ネットワーク延長の 3.1%に過ぎない。しかし、ヒアリング経路の 36.8%はこういった広幅員の区間が占めていた。

また、ヒアリング経路において「幅員が 3.5m 未満（片側 1 車線）となる区間」の割合は 7.2%となった。これは、同様の区間が道路ネットワーク延長に占める割合（34.0%）の 1/5 程度である。なお、ここでの幅員は中央帯から外側線までの距離である。

このことから、大型貨物車は幅員の大きい区間を走行する傾向があることが確認された。これは前項で示したヒアリング結果（走行経路を選択する際、「幅員、車線数」といった単路部での走りやすさを最も考慮している）を、走行経路の分析結果から裏付けるものである。

表 3-5 車線数（片側）と幅員

車線数（片側）、幅員	道路ネットワーク		40 フィートコンテナ車 ヒアリング経路	
	$P$	$L$ (km)	$P_a$	$L_a$ (台キロ)
1 車線	82.4%	50,660	22.5%	9,182
2.0 m 未満	0.0%	3	0.0%	0
2.0 - 2.5 m	0.3%	219	0.1%	29
2.5 - 3.0 m	13.8%	8,612	1.9%	794
3.0 - 3.5 m	19.8%	12,382	5.2%	2,115
3.5m 以上	47.1%	29,444	15.3%	6,243
2 車線	15.8%	9,873	40.6%	16,570
3 車線以上	3.1%	1,946	36.8%	15,013
計	100.0%	61,505	100.0%	40,765

$L$  :道路ネットワークの延長 (km)  
 $P$  :  $L$  の構成割合  
 $L_a$  :40 フィートコンテナ車のヒアリング経路長  
 $P_a$  :  $L_a$  の構成割合

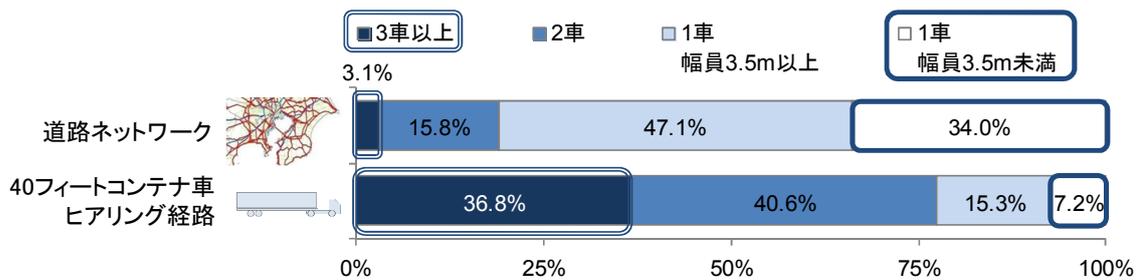


図 3-6 車線数（片側）と幅員

3.3.4.2 交差点規格

40 フィートコンテナ車及び小型貨物車が折進した交差点を交差点ランク（3.2 参照）別に集計した。小型貨物車の値は「4 トン未満の貨物車」のヒアリング経路から算定した。なお、小型貨物車の車長は概ね 8 メートル以下で、40 フィートコンテナ車の標準的な車長 16.5 メートルの半分以下である（表 3-6）。結果を表 3-7 及び図 3-7 に示す。

表 3-6 車種毎の車長  
 （出典 ORIX 自動車）

車種	小型貨物車				コンテナ車	
	1 トン	2 トン	3 トン	4 トン	20 フィート	40 フィート
車長 (m)	4.410	4.685	6.080	7.960	12.735	16.515
比	0.27	0.28	0.37	0.48	0.77	1

表 3-7 折進交差点リンク数の交差点ランク別集計

交差点 ランク	道路ネットワーク		40 フィートコンテナ車 ヒアリング経路		小型貨物車 ヒアリング経路	
	$N$	$P$	$N_a$	$P_a$	$N_b$	$P_b$
A	41,479	47.9%	4,611	76.5%	33	64.7%
B	7,752	8.9%	440	7.3%	2	3.9%
C	26,572	30.7%	663	11.0%	9	17.6%
D	10,830	12.5%	311	5.2%	7	13.7%
計	86,633	100.0%	6,025	100.0%	51	100.0%

$N$  : 道路ネットワーク上の交差点リンク総数  
 $P$  : 道路ネットワーク上の当該ランク交差点リンクの構成割合  
 $N_a$  : 40 フィートコンテナ車の当該ランク交差点での折進数  
 $P_a$  : 40 フィートコンテナ車の当該ランク交差点での折進割合  
 $N_b$  : 小型貨物車の当該ランク交差点での折進数  
 $P_b$  : 小型貨物車の当該ランク交差点での折進割合

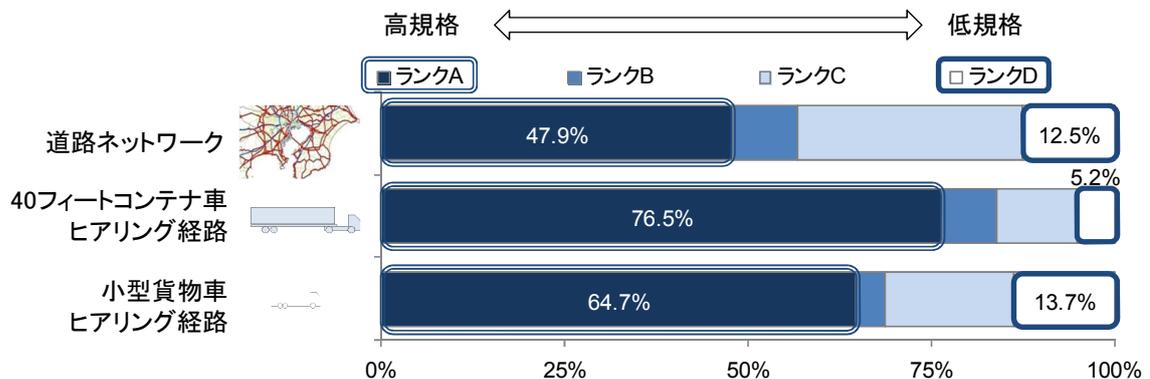


図 3-7 折進交差点リンク数の交差点ランク別集計

本研究の道路ネットワークにおける交差点リンク総数の47.9%はランク A である。これに対し、40 フィートコンテナ車が実際にランク A の交差点リンクで折進した割合は76.5%で47.9%を大きく上回る。また、交差点リンク総数に占めるランク D の交差点の割合は12.5%である。ランク D の交差点で折進する割合は、小型貨物車ではこれとほぼ同じ割合(13.7%)であるのに対し、40 フィートコンテナ車の割合(5.2%)は大幅に小さい。

40 フィートコンテナ車と小型貨物車とで交差点(ランク A およびランク D)で折進する割合に有意な差があるかを確かめるため、式(3-1)を用いて差の検定を行った。結果を表 3-8 に示す。交差点ランク D については、両者の差は0.5%水準で有意となる。これらにより、40 フィートコンテナ車が折進のしやすい規格の高い交差点を含む経路を優先的に走行している実態が確認された。

$$t = \frac{P_a - P_b}{\sqrt{P_{average} \times (1 - P_{average}) \times \left(\frac{1}{N_a} + \frac{1}{N_b}\right)}} \quad (3-1)$$

- $P_a$  : 40フィートコンテナ車の当該ランク交差点での折進割合  
 $P_b$  : 小型貨物車の当該ランク交差点での折進割合  
 $P_{average}$  : 40フィートコンテナ車及び小型貨物車の当該ランク交差点での折進割合  
 $N_a$  : 40フィートコンテナ車の当該ランク交差点での折進数  
 $N_b$  : 小型貨物車の当該ランク交差点での折進数

表 3-8 折進交差点リンクの差の検定

交差点ランク	40 フィートコンテナ車		小型貨物車		t 値	有意水準
	ヒアリング経路 $N_a$	ヒアリング経路 $P_a$	ヒアリング経路 $N_b$	ヒアリング経路 $P_b$		
A	4,611	76.5%	33	64.7%	1.98	5%
B	440	7.3%	2	3.9%	0.93	20%
C	663	11.0%	9	17.6%	-1.51	10%
D	311	5.2%	7	13.7%	-2.73	0.5%
計	6,025	100.0%	51	100.0%	—	—

- $N_a$  : 40 フィートコンテナ車の当該ランク交差点での折進数  
 $P_a$  : 40フィートコンテナ車の当該ランク交差点での折進割合  
 $N_b$  : 小型貨物車の当該ランク交差点での折進数  
 $P_b$  : 小型貨物車の当該ランク交差点での折進割合

以上より、「経路選択時に考慮する事項」についての聞き取り調査の結果に加え、実際の走行経路の分析結果からも、大型貨物車のドライバーは幅員・車線数といった「単路部での走りやすさ」と「交差点での折進のしやすさ」を考慮して経路を選択する傾向があることを明らかにした。

### 3.4 経路選択モデルの定式化

3.3 では、大型貨物車のドライバーは、幅員・車線数といった「単路部での走りやすさ」及び「交差点での折進のしやすさ」を考慮して経路を選択していることを示した。「幅員、車線数」及び「交差点での折進のしやすさ」に関する情報は道路情報便覧に掲載されており、経路選択モデルのパラメータ推定に用いることが可能である。このため、上記2つの説明変数を用いた経路選択モデルを定式化する。

これまで、「認識一般化費用」を用いて自転車や貨物車の経路選択行動を表現するモデルの研究<sup>160) 161)</sup>が行われている。これは、例えば自転車では「坂道の区間」では「平坦な区間」より大きな抵抗を感じることを、リンク長を操作することで表現するものである（坂道区間の  $x$  メートルは、平坦区間を  $y$  メートル走行することに相当する等）。これらの研究が「単路部での走りやすさ」のみを説明変数としているのに対し、本研究では「交差点での折進のしやすさ」を加えた次の8つの経路選択モデルを定式化した。ここでは「単路部での走りやすさ」を「車線数」と「車道幅員」の2パターンで表現している。なお、本章では一般道の経路選択モデルの構築を目的としていることから、一般化費用は有料道路料金を含まず、所要時間のみで表される。

#### 形式1（基本）

基本形式として、「モデル1-車線数」及び「モデル1-幅員」を次のとおり定式化した。単路部では、片側1車（「モデル1-車線数」）または片側道路幅員3.5m未満（「モデル1-幅員」）の場合、リンクの所要時間（分）が  $\alpha$  倍になる。交差点部では、折進時に通行許可条件を附される規格の低い交差点リンク（表3-2におけるランクB、C、及びD）で、 $\beta$ （分）だけ一般化費用が増加することを表現している。

$$\text{(モデル1-車線数)} \quad C_k^{rs} = \sum_{a \in L_k^{rs}} t_a \times \alpha^{\delta_{aN}} + \sum_{b \in L_k^{rs}} \beta \cdot \delta_b \quad (3-2)$$

$$\text{(モデル1-幅員)} \quad C_k^{rs} = \sum_{a \in L_k^{rs}} t_a \times \alpha^{\delta_{aW}} + \sum_{b \in L_k^{rs}} \beta \cdot \delta_b \quad (3-3)$$

$$\begin{aligned} \text{s.t.} \quad & \delta_{aN} \in \{0,1\} \quad \forall a \in L_k^{rs} \quad \forall rs \in \Omega \\ & \delta_{aW} \in \{0,1\} \quad \forall a \in L_k^{rs} \quad \forall rs \in \Omega \\ & \delta_b \in \{0,1\} \quad \forall b \in L_k^{rs} \quad \forall rs \in \Omega \\ & t_a > 0 \quad \forall a \in L_k^{rs} \quad \forall rs \in \Omega \end{aligned}$$

ここで、 $C_k^{rs}$  はゾーン  $r$  を起点、ゾーン  $s$  を終点とする OD ペア  $rs$  ( $\in \Omega$ ) の経路  $k$  の一般化費用。 $t_a$  は単路部リンク  $a$  の所要時間。 $\alpha$  は単路部での走行のしやすさに関するパラメータ。 $\beta$  は交差点での折進のしやすさに関するパラメータ。 $\delta_{aN}$  は単路部リンク  $a$  が片側1車線の場合を1、2車線以上の場合を0とするダミー変数。 $\delta_{aW}$  は単路部リンク

$a$ が片側1車線で車道幅員が3.5m未満の場合を1、その他の場合を0とするダミー変数。  
 $\delta_b$ は交差点リンク  $b$  が折進条件のある交差点リンクである場合を1、その他の場合を0とするダミー変数。 $\Omega$  は OD ペア  $rs$  の集合、 $L_k^{rs}$  は OD ペア  $rs$  の経路  $k$  に含まれるリンクの集合である。

### 形式 2

これは「単路部での走行のしやすさに関するパラメータ  $\alpha$ 」を「リンクの所要時間  $t_a$ 」から独立させたものである。

$$\text{(モデル 2-車線数)} \quad C_k^{rs} = \sum_{a \in L_k^{rs}} t_a + \sum_{a \in L_k^{rs}} \alpha \cdot \delta_{aN} + \sum_{b \in L_k^{rs}} \beta \cdot \delta_b \quad (3-4)$$

$$\text{(モデル 2-幅員)} \quad C_k^{rs} = \sum_{a \in L_k^{rs}} t_a + \sum_{a \in L_k^{rs}} \alpha \cdot \delta_{aW} + \sum_{b \in L_k^{rs}} \beta \cdot \delta_b \quad (3-5)$$

### 形式 3

これは「1+単路部での走行のしやすさに関するパラメータ  $\alpha$ 」を「リンクの所要時間  $t_a$ 」の係数とするものである。

$$\text{(モデル 3-車線数)} \quad C_k^{rs} = \sum_{a \in L_k^{rs}} t_a \cdot (1 + \alpha \cdot \delta_{aN}) + \sum_{b \in L_k^{rs}} \beta \cdot \delta_b \quad (3-6)$$

$$\text{(モデル 3-幅員)} \quad C_k^{rs} = \sum_{a \in L_k^{rs}} t_a \cdot (1 + \alpha \cdot \delta_{aW}) + \sum_{b \in L_k^{rs}} \beta \cdot \delta_b \quad (3-7)$$

### 形式 4

これは「単路部での走行のしやすさに関するパラメータ  $\alpha$ 」に加え「交差点での折進のしやすさに関するパラメータ  $\beta$ 」についても「リンクの所要時間  $t_a$ 」の係数とするものである。

$$\text{(モデル 4-車線数)} \quad C_k^{rs} = \sum_{a, b \in L_k^{rs}} t_a \cdot (1 + \alpha \cdot \delta_{aN} + \beta \cdot \delta_b) \quad (3-8)$$

$$\text{(モデル 4-幅員)} \quad C_k^{rs} = \sum_{a, b \in L_k^{rs}} t_a \cdot (1 + \alpha \cdot \delta_{aW} + \beta \cdot \delta_b) \quad (3-9)$$

### 3.5 経路選択モデルのパラメータ推定

本節では、「重複率最大化モデル」を用いて3.4で定式化した8つの経路選択モデルのパラメータ  $\alpha$  及び  $\beta$  を推定する。これは図 3-8 に示すように「経路選択モデルで推計される経路」と「ヒアリング経路」との重複区間の延長を最大にするパラメータ  $\alpha$  と  $\beta$  の組合せを探索するものである。道路ネットワーク上の無数の経路の中から選択可能な経路集合を事前に設定する必要がないことから、これを適用した研究事例<sup>162) 163) 164)</sup> がいくつか見られる。

パラメータ推定には、3.3.2に示したヒアリング経路のうち、一般道のみを利用して京浜港から茨城、栃木及び群馬までの比較的長距離の輸送を行っていた40フィートコンテナ車の46経路(図 3-9)を用いた。これは、輸送距離の短いトリップでは選択可能な経路の選択枝が少なく、幅員が狭い区間や折進しにくい交差点を避けるという行動が起こりにくいためである。経路選択モデルの  $t_a$  (単路部リンク  $a$  の所要時間) は、道路交通センサスの混雑時旅行時間から設定した。道路交通センサスの対象外の区間については、当該区間と同一の都県及び道路種別(一般国道、主要地方道、一般都県道、市町村道)の平均値を用いた。

次式で表す重複率  $O(\alpha, \beta)$  を最大にするよう、滑降シンプレックス法により  $\alpha$  及び  $\beta$  を推定した。

$$\begin{aligned} \max. \quad O(\alpha, \beta) &= \frac{\sum_{i \in I} \sum_{a \in L} \delta_{i,a} \times \delta_{i,a}^*(\alpha, \beta) \times l_a}{\sum_{i \in I} \sum_{a \in L} \delta_{i,a} \times l_a} & (3-10) \\ \text{s.t.} \quad \delta_{i,a} &\in \{0,1\} & \forall i \in I & \quad \forall a \in L \\ \delta_{i,a}^*(\alpha, \beta) &\in \{0,1\} & \forall i \in I & \quad \forall a \in L \\ l_a &> 0 & \forall a \in L \end{aligned}$$

ここで  $l_a$  は、リンク  $a$  の延長。  $\delta_{i,a}$  は、車両  $i$  のヒアリング経路がリンク  $a$  を通過する場合を1、通過しない場合を0とするダミー変数。  $\delta_{i,a}^*(\alpha, \beta)$  は、経路選択モデルのパラメータが  $\alpha$  及び  $\beta$  のときに車両  $i$  の推計経路がリンク  $a$  を通過する場合を1、通過しない場合を0とするダミー変数。  $L$  はリンクの集合、  $I$  は車両  $i$  の集合である。

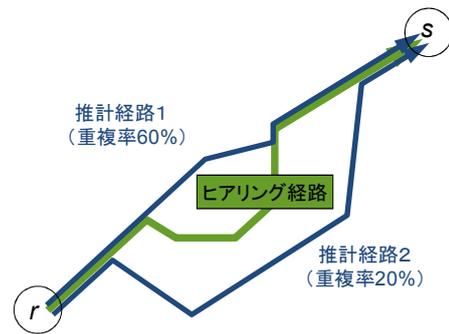


図 3-8 重複率最大化モデル

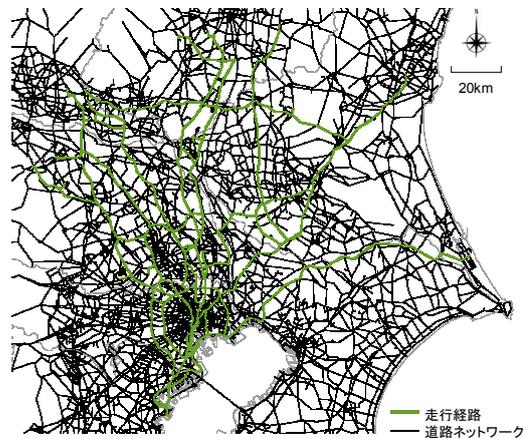


図 3-9 パラメータ推定に用いる経路

パラメータの推定結果を表 3-9 に示す。形式 1 (基本) の「モデル 1-車線数」では、2つのパラメータともに 1 以上で、妥当な値として推定された ( $\alpha = 1.195$ 、 $\beta = 18.1739$ )。この結果は次を意味する：「片側 1 車線の区間を走行する際、片側 2 車線以上の区間を走行する際に比べて 2 割程度大きな抵抗値 (所要時間) を感じている (車線数ダミーのパラメータ  $\alpha = 1.195$ )」、「折進時に通行条件を附される規格の低い交差点で折進することに対して、18 分程度の抵抗を感じている (交差点ダミーのパラメータ  $\beta = 18.1739$ )」。また、ヒアリング経路との重複率は、8 つのモデルの中で最大の 48.0% となった。これは、萩野らの研究で行った経路選択モデルのパラメータ推定での重複率 (47.5%)<sup>165)</sup>と同程度の値である。

一方、「モデル 1-幅員」では  $\alpha = 1.000$  となった。これは、車道幅員が認識一般化費用に影響しないことを意味しており、3.3 で示した傾向と整合しない。また、形式 1 との比較で算定した形式 2、形式 3 及び形式 4 では「モデル 1-車線数」の重複率 (約 48.0%) を上回るモデルはない。

表 3-9 パラメータ推定結果

モデル	単路部 (車線数) $\alpha$	単路部 (幅員) $\alpha$	交差点 $\beta$	ヒアリング経路 との重複率
1-車線数	1.195	—	18.174	48.0 %
1-幅員	—	1.000	3.100	29.9 %
2-車線数	1.147	—	3.357	41.9 %
2-幅員	—	0.031	10.500	43.2 %
3-車線数	0.406	—	3.294	36.0 %
3-幅員	—	1.750	3.050	30.1 %
4-車線数	1.250	—	0.550	27.3 %
4-幅員	—	0.747	0.142	21.2 %

以上より、経路選択モデルは「モデル 1-車線数」のパラメータ推定結果から次式のとおりとする。次章では、このモデルを用いて大型貨物車の走行経路を推計する。

$$C_k^{rs} = \sum_{a \in L_k^{rs}} t_a \times 1.195^{\delta_{aN}} + \sum_{b \in L_k^{rs}} 18.174 \cdot \delta_b \quad (3-11)$$

### 3.6 経路選択モデルの有効性の確認

#### 3.6.1 本節の目的と構成

普通車を対象にした一般道の経路推計では、起点から終点までを最小時間で移動できる経路の探索が行われる。この最小時間経路探索では、リンクの所要時間が支配的となる。これに対し本章では、3.3 で得られた知見に基づき、リンクの所要時間に加えて、大型貨物車の経路選択行動に影響を与える「車線数」及び「交差点の構造規格」を説明変数とする経路選択モデル（以下「モデル1（車線数+交差点）」という。）を構築した。そこで本節では、「交差点の構造規格を考慮しないモデル」や「最小時間経路探索モデル」による推計経路と「モデル1による推計経路」とで「正しく推計できる走行区間長」を比較する。これにより、本章で構築したモデル1の有効性を確認する。

本節の構成を図 3-10 に示す。まず 3.6.2 でモデル1（車線数+交差点）との比較対象とする「交差点の構造規格を考慮しないモデル（以下「モデル0（車線数）」という。）」を推定する。3.6.3 では、ヒアリング経路とモデル1及びモデル0による推計経路との重複率を比較する。これにより、経路選択モデルで「交差点での折進のしやすさ」を考慮することの効果を示す。3.6.4 では「商用車運行管理サービスで取得する位置データから作成する経路（以下「プローブ経路」という。）」とモデル1、モデル0及び最小時間経路探索モデルによる推計経路との重複率を比較する。これにより「車線数」及び「交差点での折進のしやすさ」を考慮することの効果を示し、本章で構築したモデル1の有効性を確認する。

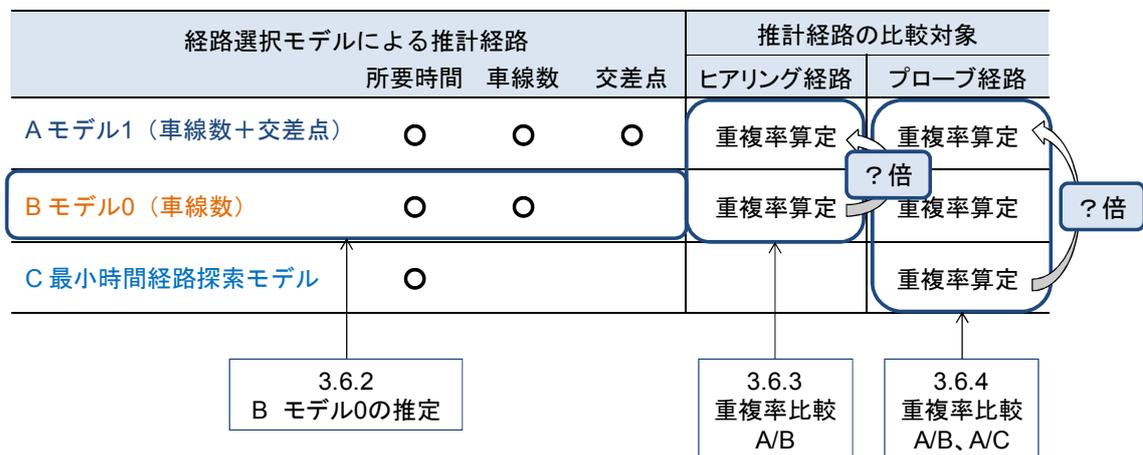


図 3-10 本節の構成

### 3.6.2 経路選択モデル0の推定

本項では、前節で推定した「モデル1（車線数+交差点）」との比較対象として、車線数のみを説明変数とするモデル0（車線数）を推定する。まず式(3-11)に示したモデル1（車線数+交差点）の右辺第2項（折進のしやすさに関する変数）を削除してモデル0（車線数）を次のとおり定式化した。

$$\text{モデル0（車線数）} \quad C_k^{rs}(\alpha) = \sum_{a \in L_k^{rs}} t_a \times \alpha^{\delta_{aN}} \quad (3-12)$$

3.5に示した方法でパラメータ推定を行った結果、 $\alpha = 4.250$ となった。モデル1（車線数+交差点）の結果と合わせて表3-10に示す。

表 3-10 モデル0のパラメータ推定結果

経路選択モデル	単路部（車線数） $\alpha$	交差点 $\beta$
A モデル1（車線数+交差点）	1.195	18.1739
B モデル0（車線数）	4.250	—

### 3.6.3 ヒアリング経路との比較

モデル1（車線数+交差点）及びモデル0（車線数）による「推計経路」と「ヒアリング経路（図3-9に示した46のOD経路）」との重複率を算定した。このうち「品川埠頭—茨城県古河市」及び「本牧埠頭—埼玉県春日部市」の2つのOD経路の例を図3-11に示す。

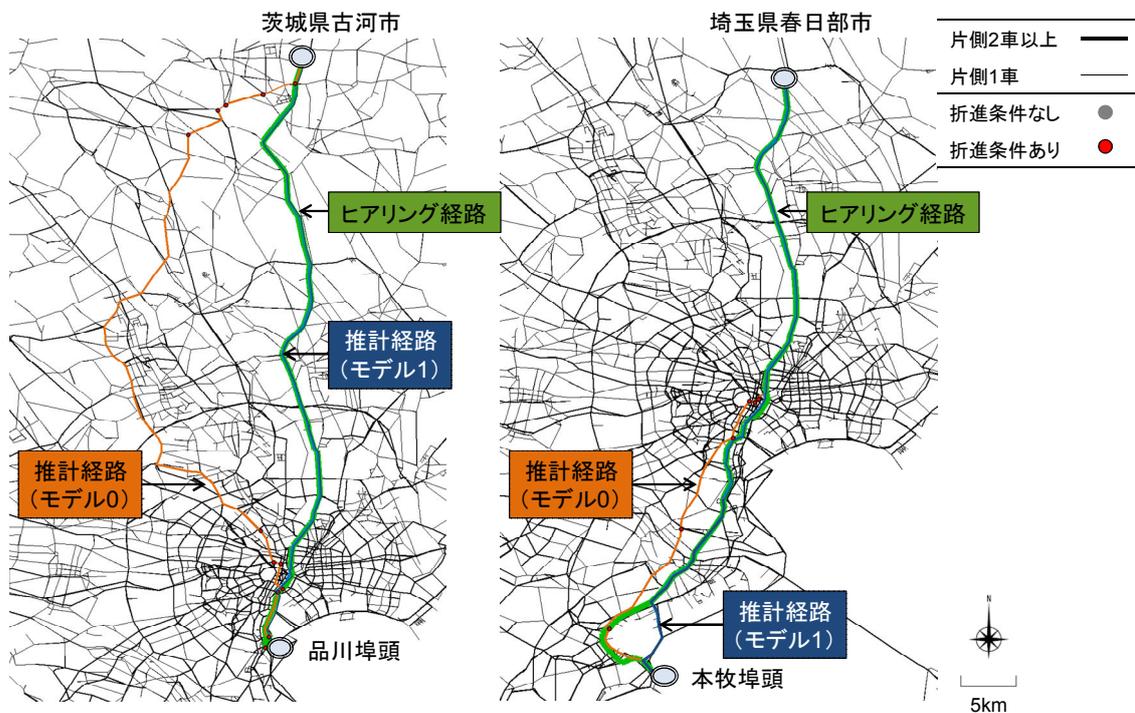


図 3-11 経路選択モデルによる推計経路とヒアリング経路

重複率の算定結果を表 3-11 に示す。ヒアリング経路（46OD 経路）とモデル 0 による推計経路との重複率は 26.4%で、モデル 1 による推計経路との重複率（48.0%）の半分程度となった。このうち「品川埠頭－古河市」では、モデル 1 との重複率（92.2%）は、モデル 0 との重複率（13.4%）の 6.88 倍、「本牧埠頭－春日部市」ではモデル 1 との重複率（80.2%）はモデル 0 との重複率（51.4%）の 1.56 倍となった。これは、経路選択モデルの説明変数に「交差点での折進のしやすさ」を含めることで、正しく推計できる走行区間長が増加することを示している。

表 3-11 ヒアリング経路と経路選択モデルによる推計経路との重複率

経路選択モデル	46OD経路	うち1OD経路 品川埠頭－古河	うち1OD経路 本牧埠頭－春日部
Aモデル1 $C_k^{rs} = \sum_{a \in L_a^{rs}} t_a \times 1.195^{\delta_a} + \sum_{b \in L_b^{rs}} 18.174 \cdot \delta_b$	48.0%	92.2%	80.2%
Bモデル0 $C_k^{rs} = \sum_{a \in L_a^{rs}} t_a \times 4.25^{\delta_a}$	26.4%	13.4%	51.4%
A/B	1.81	6.88	1.56

車線数: 片側1車 ( $\delta_a=1$ )  
→ 所要時間( $t_a$ )が  
1.195倍(モデル1)or  
4.25倍(モデル0)

交差点: 折進条件あり ( $\delta_b=1$ )  
→ 18.174分の時間抵抗

### 3.6.4 プローブ経路との比較

3.6.3 では、「ヒアリング経路」を基準にして「交差点での折進のしやすさ」を考慮することの効果を示した。本項では「プローブ経路」を基準にして前項と同様の分析を行う。ここでの分析対象は、図 3-11 で示した「本牧埠頭－春日部市」の 1 つの OD とする。また、モデル 1 との比較対象は「モデル 0（車線数）」だけでなく「最小時間経路探索モデル」とする。これにより、表 3-12 に示すように、経路選択モデルで「車線数」と「交差点での折進のしやすさ」を考慮することの効果の評価する。

表 3-12 経路選択モデルの説明変数

経路選択モデル	所要時間	車線数	交差点での折進のしやすさ
A モデル 1（車線数+交差点）	○	○	○
B モデル 0（車線数）	○	○	
C 最小時間経路探索モデル	○		

A と B の比較→「交差点での折進のしやすさ」を考慮することの効果

A と C の比較→「車線数」、「交差点での折進のしやすさ」の両者を考慮することの効果

プローブ経路は、2.4.1.2 に示した富士通株式会社の商用車運行管理サービスで 2013 年 9 月及び 10 月に収集した位置データから作成した。なお、このサービスを利用する車

両は、概ね全てが大型貨物車であることから、両者を比較することが可能である。プローブ経路の数をリンク単位で集計したものを図 3-12 に示す。図 3-13 はプローブ経路の数を日単位の発生量で整理したものである。



図 3-12 プローブ経路

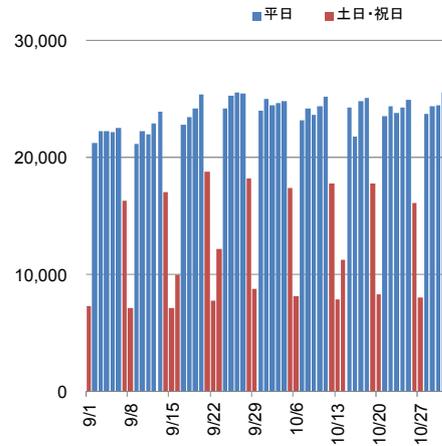


図 3-13 プローブ経路数（発生量/日）

本牧埠頭と春日部市を起点及び終点とするトリップを抽出したところ、本牧埠頭発、春日部市着のトリップが 12 (836 台キロ)、逆方向のトリップが 36 (2,507 台キロ) の計 48 トリップ (3,344 台キロ) が抽出された。また、最小時間経路探索モデルはリンクの所要時間のみを説明変数とし、次式で定義する。

$$\min. C_k^{rs} = \sum_{a \in L_k^{rs}} t_a \tag{3-13}$$

これを用いてダイクストラ法により、本牧埠頭－春日部市間の最小時間経路探索を行った。プローブ経路 (46 トリップ) 及び最小時間経路を図 3-14 に示す。

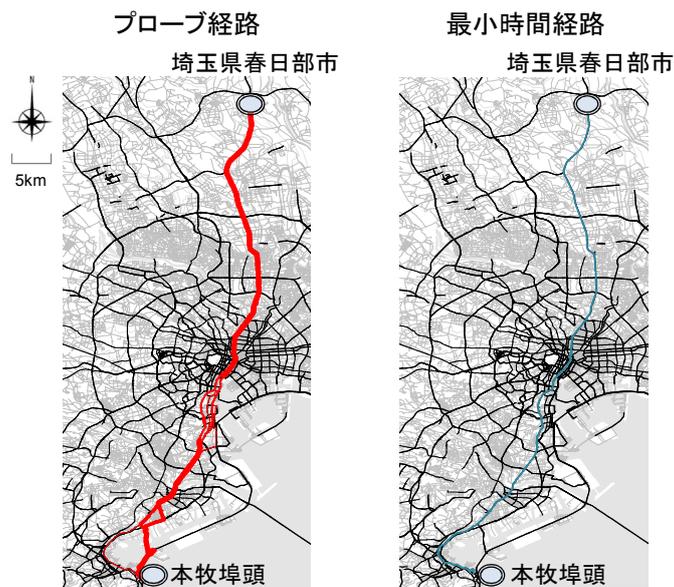


図 3-14 プローブ経路及び最小時間経路

プローブ経路とモデル1、モデル0及び最小時間経路探索モデルによる推計経路との重複率を算定した。結果を表3-13に示す。プローブ経路の総延長3,344台キロのうち2,850台キロがモデル1による推計経路と合致し、重複率は85.2%となった。これは、モデル0との重複率(50.4%)の1.69倍、最小時間経路探索モデルとの重複率(68.3%)の1.25倍である。このことは、「車線数」及び「交差点での折進のしやすさ」を説明変数に加えることで、正しく推計できる走行区間長が25%増加することを示唆している。以上より、本章で構築した経路選択モデル(モデル1)の有効性を示すことができた。

表 3-13 プローブ経路と経路選択モデルによる推計経路との重複率

経路選択モデル		重複率
Aモデル1	$C_k^{rs} = \sum_{a \in L_k^{rs}} t_a \times \underline{1.195^{\delta_a}} + \sum_{b \in L_k^{rs}} \underline{18.174 \cdot \delta_b}$	85.2%
Bモデル0	$C_k^{rs} = \sum_{a \in L_k^{rs}} t_a \times \underline{4.25^{\delta_a}}$	50.4%
C最小時間経路探索モデル	$C_k^{rs} = \sum_{a \in L_k^{rs}} t_a$	68.3%
A/B		1.69
A/C		1.25

1.25倍

車線数: 片側1車( $\delta_a=1$ )  
→ 所要時間( $t_a$ )が  
1.195倍(モデル1)or  
4.25倍(モデル0)

交差点: 折進条件あり( $\delta_b=1$ )  
→ 18.174分の時間抵抗

### 3.7 小括

#### 3.7.1 研究成果

本章では、次章での「検討対象エリアにおける走行経路の推計」に用いる「大型貨物車の経路選択特性を考慮した経路選択モデル」を構築した。

まず、道路の幅、車線数といった「単路部での走りやすさ」と「交差点での折進のしやすさ」が経路選択に与える影響が大きいことをヒアリング調査により明らかにした。さらに、道路情報便覧に掲載されている道路構造規格をリンク属性に含む道路ネットワークデータを作成し、上記の調査で把握したヒアリング経路をこのデータにあてはめることにより、「車線数の多い区間や幅員の大きい区間」、「折進条件のない大きな交差点」を走行する割合が高いことを定量的に示した。これは、国際海上コンテナ輸送に対応した道路整備や大型貨物車の適正経路への誘導施策など、今後の貨物車交通施策を検討する際の重要な知見であると考えられる。

この結果をもとに、「車線数」及び「交差点の構造規格」を説明変数とする「経路選択モデル1(車線数+交差点)」を定式化し、ヒアリング経路の情報を用いてパラメータ推

定を行った。さらに、このモデル1が特徴的に扱っている「交差点の構造規格」を考慮することの効果を示すため、車線数のみを説明変数とする「モデル0（車線数）」を推定し、ヒアリング経路及びプローブ経路との重複率を算定した。この結果、ヒアリング経路を基準にすると、モデル1（車線数+交差点）はモデル0（車線数）の1.81倍、プローブ経路を基準にする1.69倍だけ正確に走行区間を特定できることを示した。さらに、最小時間経路探索モデルとの比較も行うことにより、モデル1を用いると正しく推計できる走行区間長が1.25倍になることを確認した。これらにより、大型貨物車の経路選択モデルでは「車線数」及び「交差点の構造規格」を考慮することで、経路の推計精度が向上することを定量的に示した。これは、今後の大型貨物車の経路選択モデルの設計や交通流推計手法の研究などに示唆を与える意義のある成果であると考えられる。

### 3.7.2 考察

本章で構築した経路選択モデル1は「車線数」及び「交差点の構造規格」を説明変数に用いることで、これらを考慮しない既存の最小時間経路探索モデルと比較して、正しく推計できる走行区間が増加することを示した。これは、大型貨物車の経路選択特性を考慮したモデルを構築したという点で意義のある成果であると考えられる。

しかし、例えばモデル1による推計経路と「京浜港から茨城、栃木及び群馬までの46のヒアリング経路」との重複率を見ると、既往研究の47.5%とほぼ同じ48.0%である(3.5)。これは、モデル1では実際の走行経路の5割の区間を正しく推計できなかったことを意味する。この要因の一つは、1つのモデルで「全ての車両タイプ」の「全ての距離帯」の経路選択行動を表現していることにあると考える。普通車と大型車とで経路選択時に考慮する事項が異なるように、大型車の中でも車両の大きさや車種によって経路選択特性が異なる可能性がある。また走行距離によって「交差点での折進のしやすさ」などが経路選択行動に与える影響が異なる可能性もある。このため、実務において車重計の配置箇所を決定する際には「車両タイプ毎」「走行距離帯毎」に複数の経路選択モデルを構築するなどして、より精緻な経路推計を行うことが望ましいと考える。これについては3.7.3で述べる。

1.2で述べたとおり、本章で構築した経路選択モデルによる推計経路は、次章で行う「複数の配置方法の効率性の相対比較」や「必要な車重計の配置数の把握方法の検討」に用いるものである。つまり車重計の配置箇所決定のように箇所自体を問題とする分析に用いるわけではない。このことから走行区間を正確に推計できないことがあるとしても、上記の検討を行う上での問題は大きくないと考える。以上より、本章で構築した経路選択モデルを次章での「検討対象エリアにおける大型貨物車の走行経路」の推計に用いることとする。

### 3.7.3 今後の課題

前項で述べたとおり、本章で構築した経路選択モデルについて、より精度よく経路を推計するという観点での課題と今後実施することが望ましいと考える研究事項を述べる。

#### 3.7.3.1 車両タイプ毎の経路選択モデルの構築

経路選択時に考慮する事項が普通車と大型車とで異なるように、本研究が対象とする「最大積載重量5トン以上の普通貨物車及び特殊車」の中でも車両の大きさや車種によって経路選択行動が異なる可能性がある。しかし、本章では40フィートコンテナ車のヒアリング経路情報に基づき1種類の経路選択モデルを構築するにとどまった。また、このモデルをどの車両に適用できるかについて分析を行うには至らなかった。このため、今後の研究事項として次を挙げる。

- ・ 道路交通センサ OD 調査で得られる OD を配分することを想定し、この調査で把握できる車両タイプ（「最大積載重量（カテゴリー）」及び「車種」）毎に、3.3 と同様の方法で走行経路を調査して経路選択行動の特徴を分析する。
- ・ 経路選択行動に差が見られた車両タイプ毎に経路選択に影響を与える要因を特定し、経路選択モデルを構築する。

#### 3.7.3.2 OD 間距離を考慮した経路選択モデルの構築

本章では、走行経路調査で把握した京浜港から茨城県、栃木県及び群馬県間における走行経路情報から経路選択モデルを構築した。3.6 では、本牧埠頭から春日部までの80km程度の OD を対象にモデルの有効性を検証しているものの、他の OD 間距離においてもこのモデルを適用できるかについて確認するための分析を行うことができなかった。特に、経路の選択肢が少ない短距離の OD では、経路選択モデルが特徴的に扱った「小さい交差点や幅の狭い区間を避ける」という行動が起こりにくい可能性がある。このため、今後の研究事項として次を挙げる。

- ・ 3.7.3.1 で述べた分析で「経路選択行動に差が見られた車両タイプ」毎に、異なる OD 間距離帯での経路選択行動の特徴を分析する。
- ・ 経路選択行動に差が見られる OD 間距離帯では、それぞれ経路選択に影響を与える要因を特定し、車両タイプ毎・OD 間距離帯毎に複数の経路選択モデルを構築する。

## 第4章 車重計の配置方法

### 4.1 本章の目的と構成

本章は 1.2 において「I.基礎データ収集装置の配置」について設定した以下の3つの事項を目的とする。

- 交通量、経路、重量を指標として複数の配置方法の効率性を評価し、車重計の適切な配置方法に関する知見を得る（研究目的 1-1）。
- 逐次決定と同時決定とで得られる交通荷重を比較し、逐次決定により箇所選定を行うことの妥当性を確認する（研究目的 1-2）。
- 車載器搭載率を考慮して、所要の交通荷重情報を収集するために必要となる「車重計の配置数」の把握方法を構築する（研究目的 1-3）。

上記のような配置方法の検討を行うには、まず「検討対象エリアにおける全ての大型貨物車の走行経路と交通荷重」を推計しておく必要がある。これを行うことで、「どこに車重計を配置するとどれだけの量の車両を捕捉できるか」、「どれだけの延長をもったトリップを捕捉できるか」、「どれだけの量の交通荷重情報を収集できるか」を把握することができる。そこで本章は図 4-1 に示す構成で分析を行う。

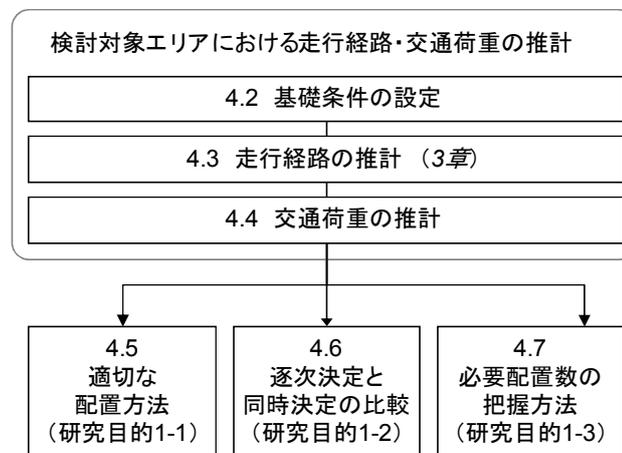


図 4-1 本章の構成

まず前半の 4.2 から 4.4 で上記の「走行経路と交通荷重」を推計する。4.2 において基礎条件を設定し、分析に必要な道路ネットワークデータ及びトリップ OD データを作成する。4.3 では、3 章で構築した経路選択モデルを用いて、検討対象エリアを発着する個々の車両の走行経路を推計する。4.4 では、対応する車両の重量を与えることにより、個々の車両の走行経路上の交通荷重を算定する。そして後半の 4.5、4.6 及び 4.7 では、4.4 までの結果を用いて上記の研究目的 1-1、研究目的 1-2 及び研究目的 1-3 を達成するための分析を行う。

## 4.2 基礎条件の設定

### 4.2.1 走行経路及び交通荷重推計のデータソース

本項は、図 4-1 に示した構成の前半の「検討対象エリアにおける全ての大型貨物車の走行経路及び交通荷重の推計」に用いるデータソースを選定する。この推計を行うには、「①走行時の車両重量」、「②起点・終点」及び「③起終点間の走行経路」に関する情報が必要になる。

表 4-1 各種調査の比較

	プローブ情報	道路交通センサ OD調査	物流センサ	東京都市圏物 資流動調査
① 走行時の 車両重量	× 不明	○ 走行時の積 載重量等	△1台あたり重量が不明	
② 起点・終点	○ 走行軌跡	○ 施設間流動	× 純流動	
③ 起終点間の 走行経路		× 不明 → 経路選択モデルによる経路の推計		

表 4-1 に示すとおり、ETC2.0 サービス及び商用車運行管理サービス等のプローブ情報では、個々の車両について「②起点・終点」及び「③起終点間の走行経路」に関する情報を取得できる。しかし、「①走行時の車両重量」を把握することができない。

一方、道路交通センサ OD 調査では、「①走行時の車両重量」として「運行時の積載重量」及び「最大積載重量」並びに「②起点・終点」を把握できるものの、「③起終点間の走行経路」を把握することができない。ただし、1 日の輸送経路の起点、終点、立寄り箇所、利用した高速道路インターチェンジ名等、「走行経路上の点に関する情報」を把握することができる。このため 3 章で構築した経路選択モデルを用いることで「③起終点間の走行経路」を推計することが可能である。しかも道路交通センサ OD 調査はサンプル調査であるものの、母集団推計用の拡大係数が設定されているため、検討対象エリアにおける全ての車両の走行経路や交通荷重の総量の推計を行うことが可能である。

「全国貨物純流動調査（物流センサ）」<sup>166</sup>でも貨物の輸送量を調査しており、秋期の 3 日間に出荷された貨物の届先地、輸送手段、品類、重量（届先地等が同じ場合は 3 日間の合計値）を把握することができる。しかしこの調査が、車両ではなく貨物の流動に着目して行われていることから、各出荷品（3 日間に出荷される重量の総量）が何台の車両によって輸送されたのかが示されていない。このため、貨物車の走行台数を把握しようとする、出荷重量を車両台数に変換する必要が生じる。例えば筆者の既往研究<sup>167</sup>では、道路交通センサ OD 調査から「品類別、発地県別の貨物車 1 台あたりの平均積載重量（台／トン）」を求め、「貨物車総走行台数」をコントロールトータルとした換算

係数を算定することにより、貨物の流動量を「重量ベース」から「台数ベース」に変換している。また、OD 量がいわゆる純流動として整理されているという問題もある。例えば、「製造業の A 工場」から「輸送業者の B 倉庫」を経て「卸売業者の C 事業所」まで貨物が輸送される場合、純流動での OD 量は「起点：A 工場 → 終点：C 事業所」と整理され、実際の道路上の輸送ルートとは異なる。これは、純流動が「出荷と入荷を行う事業者（製造業、卸売業等）間の貨物流動」を表すためである（輸送事業者は、出入荷を行う事業者として扱われていない）。東京都圏物資流動調査<sup>168)</sup>でも、OD 量は上記同様に純流動で整理されている。これらのことから、道路交通センサス OD 調査の結果を「検討対象エリアにおける全ての大型貨物車の走行経路及び交通荷重の推計」のデータソースとすることとする。

#### 4.2.2 道路ネットワークデータ

検討対象エリア（千葉県南部地域）における道路ネットワークデータを作成した。前項で述べたとおり、本章では道路交通センサス OD 調査で把握する「大型貨物車の OD 量」を「3章で構築した経路選択モデル」を用いて道路ネットワークに配分する。このため、これに必要な「車線数」及び「交差点の構造規格」を道路情報便覧より把握し、「単路部リンク」及び「交差点リンク」にそれぞれ属性情報として付加した（図 4-2）。また本章では「容量制約付き分割配分」を行う

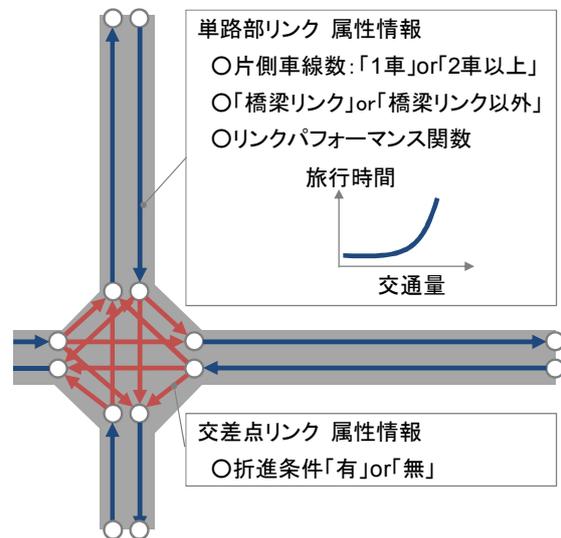


図 4-2 単路部リンク及び交差点リンク

(4.3 参照)。これは、リンクの交通量が増加するにつれて当該リンクの通過時間が増加することを考慮するものである。これに必要な「リンクの交通量とリンクの通過時間（旅行時間）との関係を表すリンクパフォーマンス関数」を各リンクに設定した（図 4-2）。リンクパフォーマンス関数には次に示す BPR 関数<sup>169)</sup>を用いた<sup>43)</sup>。

$$t_a(x_a) = t_a^0 \left\{ 1 + \alpha \left( \frac{x_a}{C_a} \right)^\beta \right\} \quad (4-1)$$

ここで、 $x_a$ はリンク  $a$  ( $\in L$ ) の交通量、 $t_a(x_a)$ は交通量が  $x_a$  の場合のリンク  $a$  の所要時間である。 $t_a^0$  はリンク  $a$  における自由走行時の旅行時間で、規制速度から算定した。 $C_a$

<sup>43)</sup> BPR 関数：米国道路局（US Bureau of Public Road）が 1964 年の米国の交通量配分マニュアルで示した「交通量と旅行時間との関係を表す式」。国内での道路ネットワーク上の交通量推計等の実務においてよく用いられている。

はリンク  $a$  の交通容量で、道路の種級区分及び車線数より設定した。 $\alpha$  及び  $\beta$  はパラメータで「道路交通需要予測の理論と適用」<sup>170)</sup>を参照し、それぞれ 0.48 及び 2.82 とした。リンクパフォーマンス関数のパラメータの設定例を表 4-2 に示す。

表 4-2 リンクパフォーマンス関数のパラメータの設定例

種級区分	車線数	規制速度 (km/h)	$t_a^0$ (分)	$C_a$ (台/日)	$\alpha$	$\beta$
第3種2級	2	40	1.50	19,100	0.48	2.82
		50	1.20			
		60	1.00			
第3種3級	4	40	1.50	42,000		
		50	1.20			
		60	1.00			

検討対象エリアの単路部リンク（方向別）の総数は 1,014 となった。このうち片側 2 車線以上のリンクは 66（単路部リンク 1,014 の 6.5%）、橋梁が存在するリンク（以下「橋梁リンク」という。）の数は 181（単路部リンク 1,014 の 17.9%）となった。交差点を表すノードの総数は 340、このうち折進条件「有」の交差点の数は 60（交差点の総数の 17.6%）となった（方向別の交差点リンク数では 163）。作成した道路ネットワークデータを図 4-3 に示す。

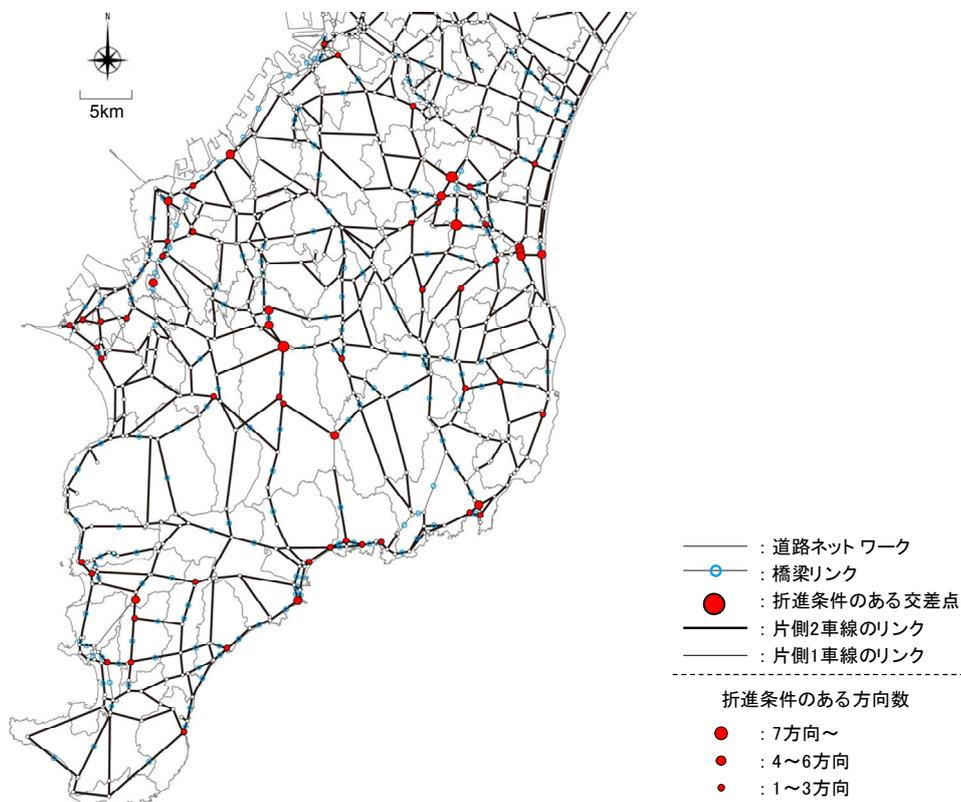


図 4-3 道路ネットワークデータ

## 4.2.3 トリップODデータ

道路交通センサスOD調査の基礎情報を収録したオーナーマスターデータから、図 4-4 に示す「検討対象エリアを起点または終点とする大型貨物車のトリップ」を抽出した。1,213 トリップが抽出され、各トリップに表 4-3 に示す属性情報を付加した。なおここでの大型貨物車は 1.3 で述べたとおり、交通荷重把握の対象とする最大積載重量 5 トン以上の「普通貨物車」及び「特殊車」である。検討対象エリア内の発ゾーン及び着ゾーンは、市区町村 (B ゾーン) 単位の 52 ゾーンとした。

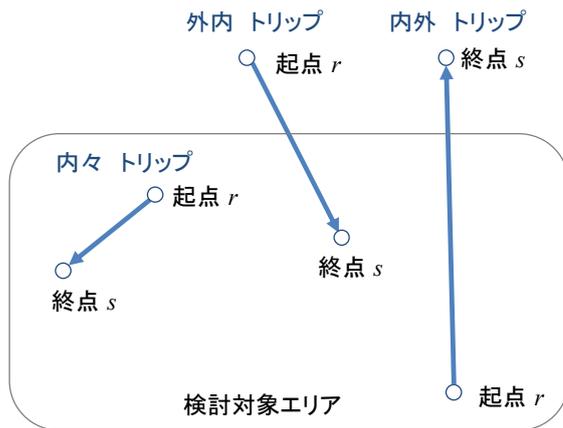


図 4-4 対象トリップ

表 4-3 トリップ OD の属性情報

車両整理番号
車種
ETC 車載器の有無
最大積載量(kg)
1日の走行距離(km)
1日のトリップ数
発ゾーン
着ゾーン
乗車人員
走行時の積載重量(kg)
高速道路利用有無
乗インターチェンジ名
降インターチェンジ名
拡大係数

表 4-3 に示すとおり、各トリップ OD には母集団推計のための拡大補正係数 (最小 4、最大 212、平均 41.6) が設定されている。これを用いると、1,213 トリップは 51,210 トリップに拡大補正された。これらの大型貨物車トリップの発生集中量を県単位で整理すると表 4-4 のとおりとなる。トリップの 70.71%が「検討対象エリア内」、11.96%が「検討対象エリア外の千葉県」、4.24%が「東京都」、2.98%が「埼玉県」を起点または終点とするものであった。

表 4-4 大型貨物車トリップの発生集中量

	発生集中量	構成割合
千葉県 (検討対象エリア内)	72,420	70.71%
千葉県 (検討対象エリア外)	12,252	11.96%
茨城県	2,279	2.23%
栃木県	1,117	1.09%
群馬県	1,091	1.07%
埼玉県	3,050	2.98%
東京都	4,344	4.24%
神奈川県	1,982	1.94%
他 (1都6県外)	3,885	3.79%
計	102,420	100.00%

本研究では大型貨物車の走行経路を推計する際、「大型貨物車以外の車両（以下「普通車」という。）による速度低下」の影響を考慮することとしている（4.3 参照）。このため大型貨物車と同様に、検討対象エリアを発着する普通車についてもトリップ OD データを作成した。ここでの普通車は、「乗用車」「軽乗用車」「最大積載重量5トン未満の普通貨物車及び特殊車」「軽貨物車」及び「小型貨物車」とした。これらのトリップの発生集中量を表 4-5 に示す。大型車トリップ（表 4-4）と比較すると、検討対象エリア内の割合が大きい（大型貨物車：70.71%、普通車 92.68%）。

表 4-5 普通車トリップの発生集中量

	発生集中量	構成割合
千葉県（検討対象エリア内）	2,984,828	92.68%
千葉県（検討対象エリア外）	203,053	6.30%
茨城県	2,989	0.09%
栃木県	648	0.02%
群馬県	822	0.03%
埼玉県	3,441	0.11%
東京都	14,246	0.44%
神奈川県	9,550	0.30%
他（1都6県外）	1,033	0.03%
計	3,220,610	100.00%

### 4.3 走行経路の推計

本節は、3章で構築した経路選択モデルを用い、前節で作成したトリップ OD を道路ネットワークに配分することにより「検討対象エリアにおける全ての大型貨物車の走行経路」を推計することを目的とする。

#### 4.3.1 推計方法

3章では、大型貨物車は車線数の多い区間や折進のしやすい交差点を優先して走行する等、普通車とは経路選択特性が異なることを示した。このため、大型貨物車と普通車の配分計算を異なる方法で行う。大型貨物車は3章で構築した経路選択モデルを用いて探索する一般化費用最小経路に配分する。普通車は、最短の移動時間で目的地に到達できる経路を選択することを想定し、最小時間経路への配分を行う。

異なる効用を持つ大型貨物車と普通車をネットワークに配分する際、収束計算を含む均衡配分等を用いるとアルゴリズムの構築が困難になる。そこで本章での分析には容量制約付き分割配分法 (Incremental Assignment (I.A.法))<sup>171)</sup>を用いる。これは、道路整備後の交通流の変化の推計等、実務でよく用いられるものである。ただし、この分割配分法では、道路ネットワーク上の交通の厳密な均衡状態を得ることができない<sup>172)</sup>。もし、車重計の建設箇所を選定するなど、箇所自体を問題とする場合は収束計算を含む詳細な配分方法を用いることが望ましいと考える。しかし、本章は「車重計の配置方法についての効率性の比較」や「車載器搭載率及び車重計の配置数と車重計カバー率との関係分析」を行うことを目的としており、この分析過程で得られる車重計の配置箇所そのものは何ら意味を持たない。このため、計算のしやすさを優先させて分割配分法 (交通量均等5分割) を用いる。

以下に示す手順により、各 OD ペア間の走行経路及び各リンクの交通量を推計する。なお、交通量均等5分割により経路探索を5回行うことから、各 OD ペア  $rs$  では大型貨物車と普通車それぞれ最大5経路が選定される。

(ステップ0)

ゾーン  $r$  を起点、ゾーン  $s$  を終点とする OD ペア  $rs$  ( $\in \Omega$ ) における大型貨物車の OD 交通量を5等分したものを  $Q_{rs}^{Heavy}$ 、普通車の OD 交通量を5等分したものを  $Q_{rs}^{Ordinary}$  とする。リンク  $a$  ( $\in L$ ) の交通量を0台 ( $x_{a,0}=0$ )、リンク  $a$  の所要時間を自由流旅行時間 ( $t_a^0$ ) とする。 $\Omega$  は OD ペア  $rs$  の集合、 $L$  はリンクの集合である。配分ステージ  $m$  ( $\in \{1,2,3,4,5\}$ ) を1とする。

(ステップ1) 経路の特定

OD ペア  $rs$  の大型貨物車の一般化費用最小経路(4.2で推定した経路選択モデルにより推計される経路)及び普通車の最小時間経路を次式で求める。

$$\text{大型: } \min. C_k^{rs} = \sum_{a \in L_k^{rs}} t_a(x_{a,m-1}) \times 1.195^{\delta_a} + \sum_{b \in L_k^c} 18.1739 \times \delta_b \quad (4-2)$$

$$\text{普通: } \min. C_k^{rs} = \sum_{a \in L_k^{rs}} t_a(x_{a,m-1}) \quad (4-3)$$

$$\begin{aligned} \text{s.t. } \quad & \delta_a \in \{0,1\} \quad \forall a \in L_k^{rs} \\ & \delta_b \in \{0,1\} \quad \forall b \in L_k^c \\ & x_{a,m-1} \geq 0, \quad t_a(x_{a,m-1}) \geq 0 \quad \forall a \in L_k^{rs} \quad m \in \{1,2,3,4,5\} \end{aligned}$$

ここで、 $C_k^{rs}$  は OD ペア  $rs$  の経路  $k$  の一般化費用。 $t_a(x_{a,m-1})$  は配分ステージ  $m$  での単路部リンク  $a$  の所要時間。 $\delta_a$  は単路部リンク  $a$  が片側1車線の場合を1、2車線以上の場合を0とするダミー変数。 $\delta_b$  は交差点リンク  $b$  が折進条件のある交差点リンクである場合を1、その他の場合を0とするダミー変数。 $L_k^{rs}$  は OD ペア  $rs$  の経路  $k$  に含まれるリンクの集合である。選定された大型貨物車の走行経路を  $f_{rs,m}^{Heavy}$ 、普通車の走行経路を  $f_{rs,m}^{Ordinary}$  とする。

#### (ステップ2) リンク交通量の算定

配分ステージ  $m$  での配分後のリンク  $a$  の交通量  $x_{a,m}$  を次式で算定する。

$$\begin{aligned} x_{a,m} &= x_{a,m-1} + Q_{rs}^{Heavy} \times \delta_{a,m}^{Heavy} + Q_{rs}^{Ordinary} \times \delta_{a,m}^{Ordinary} \\ \text{s.t. } \quad & \delta_{a,m}^{Heavy} \in \{0,1\} \quad \forall a \in L_k^{rs} \quad m \in \{1,2,3,4,5\} \\ & \delta_{a,m}^{Ordinary} \in \{0,1\} \quad \forall a \in L_k^{rs} \quad m \in \{1,2,3,4,5\} \end{aligned} \quad (4-4)$$

ここで、 $\delta_{a,m}^{Heavy}$  はリンク  $a$  が大型貨物車の走行経路  $f_{rs,m}^{Heavy}$  に含まれる場合を1、含まれない場合を0とするダミー変数。 $\delta_{a,m}^{Ordinary}$  はリンク  $a$  が普通車の走行経路  $f_{rs,m}^{Ordinary}$  に含まれる場合を1、含まれない場合を0とするダミー変数である。

#### (ステップ3) リンク所要時間の算定

配分ステージ  $m$  での配分後のリンク  $a$  の所要時間  $t_a(x_{a,m})$  を次式で算定する。

$$t_a(x_{a,m}) = t_a^0 \left\{ 1 + \alpha \left( \frac{x_{a,m}}{C_a} \right)^\beta \right\} \quad (4-5)$$

ここで、 $C_a$  はリンク  $a$  の交通容量、 $\alpha$  及び  $\beta$  はパラメータで、4.2.2 で示したとおり設定した。

#### (ステップ4) 配分終了の判定

配分ステージ  $m=5$  であれば終了。他は  $m=m+1$  としてステップ1に戻る。

### 4.3.2 高速道路利用トリップにおける一般道路利用区間の抽出方法

高速道路を含む道路ネットワークにおける交通量配分を扱った研究では、配分の初期段階で「高速道路を利用する経路」または「高速道路を利用しない経路」を選択する、いわゆる高速道路転換率を用いた二項ロジット型のモデルが、松井ら<sup>173)</sup>や雲林院ら<sup>174)</sup>によって提案され、実務でもよく用いられている。しかしこのモデルには、通常では高速道路を利用することが現実的でないような場合でも、ロジット式に従って「高速道路を利用する経路」に交通量が配分されるという課題があることを井上ら<sup>175)</sup>が指摘している。

そこで本研究では、個々のトリップの高速利用の有無をオーナーマスターデータから判定することにより上記の課題を回避することとする。さらに、高速道路を利用したトリップについては「乗り降りしたインターチェンジ」についてもオーナーマスターデータから把握し、この中から分析対象とする一般道利用区間を特定する。例えば、**図 4-5**に示すように「起点を  $r$ 、終点を  $s$  とする車両  $i$  の高速利用トリップ  $f_i^{r,s}$ 」は、「起点  $r$  から乗インターチェンジ ( $s^*$ ) までのトリップ  $f_i^{r,s^*}$ 」及び「降インターチェンジ ( $r^*$ ) から終点  $s$  までのトリップ  $f_i^{r^*,s}$ 」に分け、トリップ  $f_i^{r,s^*}$  とトリップ  $f_i^{r^*,s}$  それぞれで走行経路を推計する。乗インターチェンジ ( $s^*$ ) 及び降インターチェンジ ( $r^*$ ) の道路ネットワークデータ上の位置は、それぞれが含まれるゾーンの中心ノードとした。なお 1 章で述べたとおり、本研究では一般道区間における交通荷重情報を収集する方法を扱うこととしているため、高速道路は分析対象としない。

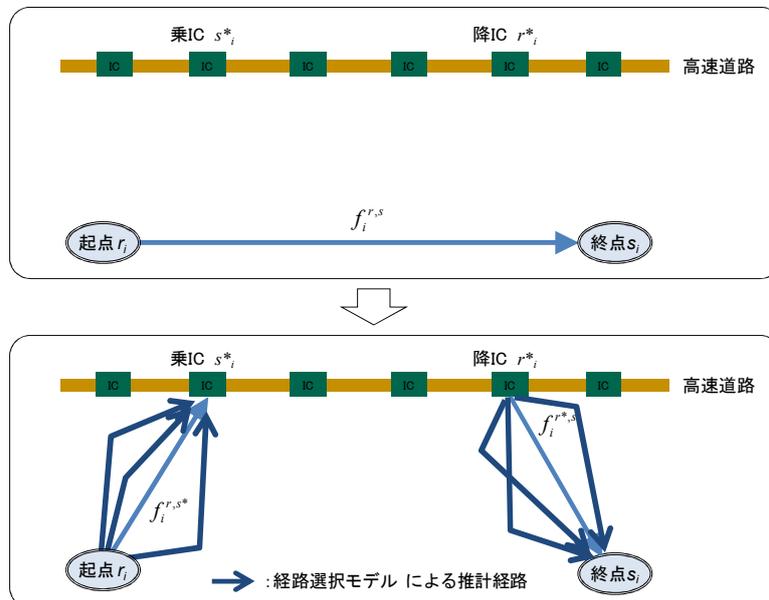


図 4-5 高速道路利用トリップにおける一般道利用区間の抽出

### 4.3.3 推計結果

4.2.3 で作成したトリップ OD を 4.3.1 及び 4.3.2 に示した方法を用いて道路ネットワークに配分して走行経路及び各リンクの交通量を推計した。結果を図 4-6 に示す。

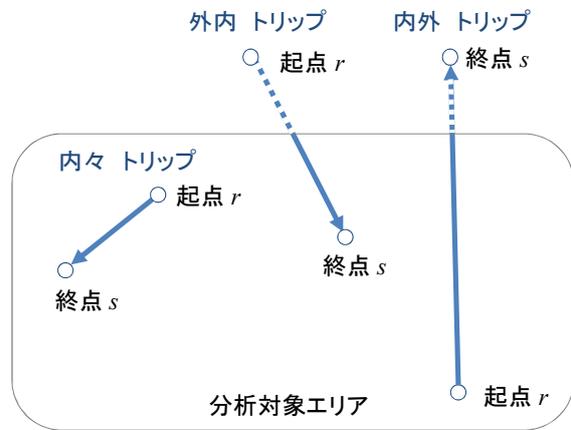
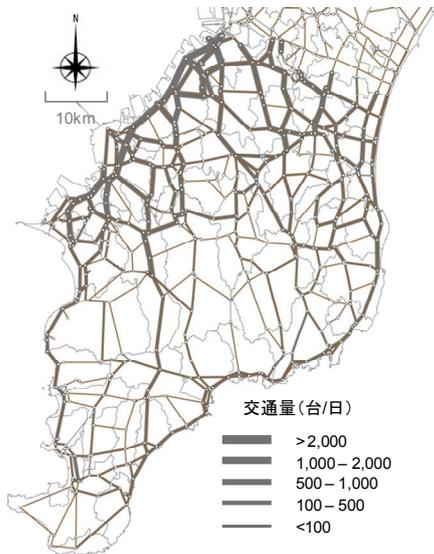


図 4-7 対象範囲

図 4-6 経路及びリンク交通量の推計結果

図 4-7 に示すとおり、大型貨物車のトリップのうち、検討対象エリア内での「総走行距離  $L_{all}$  (km)」及び「橋梁の総通過回数  $N_{bridge}$  (回)」を次式で算定した。

$$L_{all} = \sum_{i \in I} \sum_{rs \in \Omega} \sum_{m \in M} \sum_{a \in L^{rs,m}} \delta_i^{rs,m} \times l_a \quad (4-6)$$

$$N_{bridge} = \sum_{i \in I} \sum_{rs \in \Omega} \sum_{m \in M} \sum_{a \in L^{rs,m}} \delta_i^{rs,m} \times \delta_a^B \quad (4-7)$$

$$\begin{aligned} \text{s.t. } & l_a > 0 & \forall a \in L^{rs,m} & \forall rs \in \Omega & \forall m \in M \\ & \delta_i^{rs,m} \in \{0,1\} & \forall i \in I & \forall rs \in \Omega & \forall m \in M \\ & \delta_a^B \in \{0,1\} & \forall a \in L^{rs,m} & \forall rs \in \Omega & \forall m \in M \end{aligned}$$

ここで、 $l_a$  はリンク  $a$  ( $\in L^{rs,m}$ ) の延長 (km)。 $\delta_i^{rs,m}$  は、車両  $i$  が OD ペア  $rs$  間の経路  $m$  を走行する場合を 1 とするダミー変数。 $\delta_a^B$  は、リンク  $a$  が橋梁リンクである場合を 1 とするダミー変数。 $L^{rs,m}$  は、OD ペア  $rs$  の経路  $m$  のうち検討対象エリア内にあるリンクの集合。 $I$  は車両  $i$  の集合。 $M$  は経路  $m$  の集合。 $\Omega$  は OD ペア  $rs$  の集合である。なお、これらの変数のうち複数回記載するものは、後述のものも含めて章末に掲載する。結果を表 4-6 に示す。

表 4-6 大型貨物車の総走行距離及び橋梁の総通過回数

総走行距離 ( $L_{all}$ )	669,454 km
橋梁の総通過回数 ( $N_{bridge}$ )	249,579 回

## 4.4 交通荷重の推計

### 4.4.1 本節の目的と構成

4.3 の推計結果より、大型貨物車の 51,210 トリップについての道路ネットワーク上の走行経路が得られた。本節ではこれらのトリップの走行経路上の交通荷重を算定することを目的とする。

まず 4.4.2 では、表 4-3 で示したトリップ OD の属性情報に基づき、 $i$  番目の大型貨物車の車両総重量を設定する。4.4.3 では、前節で示した各車両の総重量の算定方法を用いて、4.2.3 で作成した大型貨物車 51,210 トリップの重量を算定し、トリップの起終点の分布を整理する。4.4.4 では、「4.3 で推計した車両  $i$  の走行経路」に含まれるリンクに「4.4.2 で設定した車両  $i$  の重量」を与えることにより、道路ネットワーク上の交通荷重の総量を算定する。

### 4.4.2 走行時の車両総重量の設定

トリップ OD ペア  $rs$  間を走行する際の大型貨物車  $i$  の車両総重量  $W_{i,rs}$  を設定する。なお、トリップ OD ペア  $rs$  間では荷物の積み降ろしがなく、乗車人員も変化しないことから車両総重量は一定となる。車両重量 (トン) を  $WV_i$ 、積載物の重量 (トン) を  $WF_{i,rs}$ 、乗車人員重量 (トン) を  $WP_{i,rs}$  とすると、走行時の車両総重量  $W_{i,rs}$  は次式で表すことができる。

$$W_{i,rs} = WV_i + WF_{i,rs} + WP_{i,rs} \quad (4-8)$$

乗車人員重量  $WP_{i,rs}$  が車両総重量  $W_{i,rs}$  に占める割合は小さいと思われる。しかし、一般的に車両総重量の算定時には「55kg/人」として乗車人員が考慮されている<sup>176)</sup>。このため本稿でもこれに倣い、乗車人員重量を含めて車両総重量を算定することとした。

#### 4.4.2.1 車両重量 ( $WV_i$ )

オーナーマスターデータでは「車両重量 ( $WV_i$ )」を把握することができない (表 4-3 参照)。そこで、オーナーマスターデータで把握することができる「最大積載重量 ( $WM_i$ )」から車両重量 ( $WV_i$ ) を推計する方法を考える。主な貨物車販売メーカーの ISUZU<sup>177)</sup>、UD トラックス<sup>178)</sup>、日野自動車<sup>179)</sup> 及び三菱ふそうトラック・バス株式会社<sup>180)</sup> のホームページに掲載されている大型貨物車の車両諸元表に掲載されている最大積載重量 ( $WM_i$ ) 及び車両重量 ( $WV_i$ ) を表 4-7 に示す。

表 4-7 大型貨物車の最大積載重量と車両重量

	メーカー	車型	最大積載重量 $WM_i$ (トン)	車両重量 $WV_i$ (トン)
1	ISUZU	TKG-FRR90S2-MBYS	4.00	3.57
2	ISUZU	TKG-FRR90S2-NDYS	4.15	3.61
3	ISUZU	TKG-FRR90S2-NCYS	4.20	3.56
4	ISUZU	前二軸 QKG-CXG77A-XX-D	11.20	8.54
5	ISUZU	8×4 QKG-CYJ77A-WX-D	15.70	9.00
6	ISUZU	6×2 QKG-CYL77A-VX-D	15.90	8.86
7	UD トラック	Condor TKG-MK38LKHHDB	4.05	3.79
8	UD トラック	Condor TKG-LK38LKHHDB	5.70	4.08
9	UD トラック	Condor TKG-LK39NKHHDB	6.30	4.55
10	UD トラック	Condor QKG-PK39LSDHD6	8.60	6.53
11	UD トラック	6×4 QKG-CW5YLNDVDP	11.00	10.80
12	UD トラック	Condor LDG-PW39LP4HDP	12.60	7.15
13	UD トラック	6×2 QKG-CV5YBZHVDP 23t	13.00	9.08
14	UD トラック	8×4 QKG-CG5ZAWHVDQ 25t	15.30	9.45
15	UD トラック	6×2 QKG-CD5ZAWHVDQ 25t	15.70	9.09
16	日野自動車	SH1EDAG 海コン用	9.20	7.02
17	日野自動車	SH1EDAG	10.10	7.03
18	三菱ふそう	QKG-FP54VDR	9.50	7.04
19	三菱ふそう	QKG-FS54VZ	13.80	11.10
20	三菱ふそう	QKG-FU54VZ	14.10	10.77

これより両者の関係を一次回帰式で求めた。図 4-8 に示すとおり、決定係数は 0.8088 となり両者には高い相関があることが確認された。このため、次式を用いてオーナーマスターデータで把握する個々の車両の「最大積載重量 ( $WM_i$ )」から「車両重量 ( $WV_i$ )」を推計することとした。

$$WV_i = WM_i \times 0.5454 + 1.6646 \quad (4-9)$$

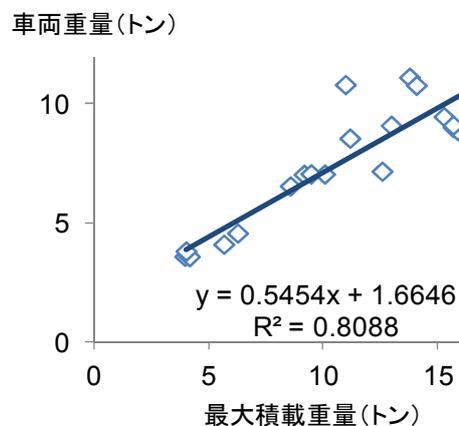


図 4-8 最大積載重量と車両重量との関係

4.4.2.2 乗車人員重量 ( $WP_{i,rs}$ )

オーナーマスターデータでは「乗車人員 ( $P_{i,rs}$ )」を把握することができるものの「乗車人員重量 ( $WP_{i,rs}$ )」は把握できない(表 4-3 参照)。このため、平均的な体重 (67.06kg) を「乗車人員 ( $P_{i,rs}$ )」に乗じて「乗車人員重量 ( $WP_{i,rs}$ )」を算定する。ここでの平均的な体重は、表 4-8 に示す「年齢階層別の平均体重」を、「年齢階層別の輸送・機械運転従事者数」で重み付けして算定した。

表 4-8 平均体重の算定

(出典 従業者数：総務省「労働力調査」<sup>181)</sup>、平均体重：文部科学省調査<sup>182)</sup>)

年齢	輸送・機械運転従事者数 (万人)		平均体重 (kg)	
	男性	女性	男性	女性
15～19 歳	0	0	—	—
20～24 歳	4	0	66.12	50.01
25～29 歳	9	0	66.90	50.54
30～34 歳	14	0	68.44	50.99
35～39 歳	20	1	69.29	52.22
40～44 歳	28	1	69.41	52.75
45～49 歳	27	1	69.40	53.15
50～54 歳	25	1	69.34	53.00
55～59 歳	27	1	67.66	53.34
60～64 歳	31	1	65.23	52.93
65～69 歳	22	0	63.72	51.65
70～74 歳	8	0	62.06	51.19
75 歳以上	1	0	61.60	49.89

これより次式で「乗車人員重量 ( $WP_{i,rs}$ )」を算定する。

$$WP_{i,rs} = P_{i,rs} \times 0.06706 \quad (4-10)$$

「運行中の積載重量 ( $WF_{i,rs}$ )」はオーナーマスターデータから直接把握することができる。これらをまとめると次のとおりとなる。オーナーマスターデータから「最大積載重量 ( $WM_i$ )」、「運行中の積載重量 ( $WF_{i,rs}$ )」及び「乗車人員 ( $P_{i,rs}$ )」を把握し、次式で「走行時の車両総重量 ( $W_{i,rs}$ )」を算定する。

$$\begin{aligned} W_{i,rs} &= WM_i + WF_{i,rs} + WP_{i,rs} \\ &= (WM_i \times 0.5454 + 1.6646) + WF_{i,rs} + (P_{i,rs} \times 0.06706) \end{aligned} \quad (4-11)$$

## 4.4.2.3 「不明」データの扱い

オーナーマスターデータでは、各値が「不明 (99,999 等)」となっているレコードが含まれている。これらの「不明」データを次のとおり補完した。「運行中の積載重量」が不明のトリップが 46 (1,213 の 3.8%、拡大なしベース) あった。このトリップの「運行中の積載重量」は、「運行中の積載重量」が 0、つまり空荷状態で走行しているトリップを

除く 604 トリップの平均 (9.682 トン) とした。「最大積載重量」が不明の車両は 26 台あった (394 台の 6.6%、拡大なしベース)。これら車両の「最大積載重量」は、5 トン未満も含めた普通貨物車及び特殊車のうち「最大積載重量」が不明の車両を除く車両の平均とした。「乗車人員 (人)」が不明のトリップは 55 あった (1,213 の 4.5%、拡大なしベース)。これらには、不明を除く 1,158 トリップの平均 1.0863 を与えた。

#### 4.4.3 大型貨物車トリップの分布

前節で示した方法を用いて、4.2.3 で作成した大型貨物車の 51,210 トリップでの車両総重量を算定した。トリップの起終点の分布をトリップ数ベースと重量ベースで整理すると図 4-9 のとおりとなった。京葉臨海工業地帯のある東京湾岸部を起終点とするトリップの割合が大きい。

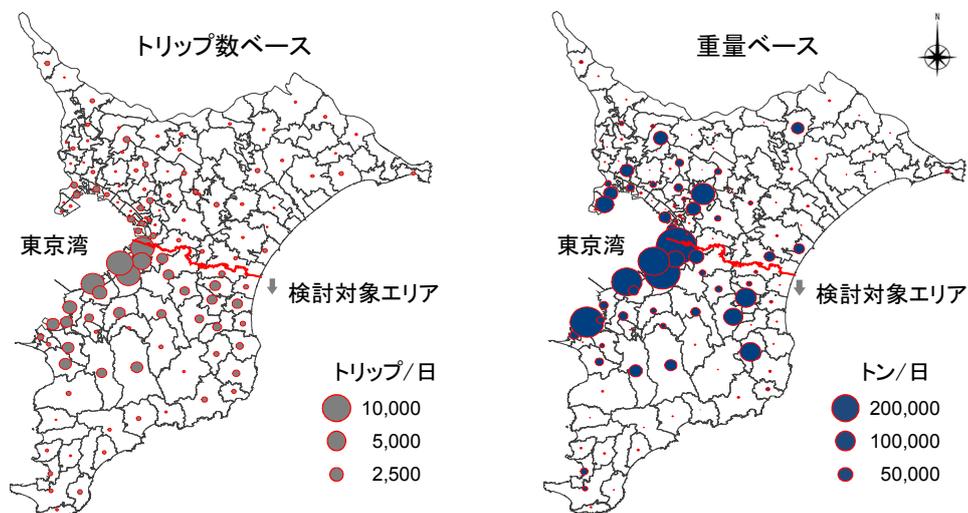


図 4-9 大型貨物車トリップの分布 (トリップ数ベース及び重量ベース)

#### 4.4.4 交通荷重の推計

4.3 で推計した個々の車両の「走行経路」に、対応する車両の「車両総重量 (4.4.2 で示した方法で設定)」を与えることにより、走行経路上の交通荷重を推計する。1章で述べたとおり本研究では「重量車両が道路構造物に与えるダメージに関する基礎情報」を把握する方法を扱う。このダメージは、重量の 4 乗 (舗装) 及び 12 乗 (橋梁) に比例して指数関数的に増加することが既往研究で明らかにされている (2.2.2 参照)。このため交通荷重には、「車両総重量」そのものではなく、これを 4 乗則または 12 乗則により「車両総重量の一般的制限値 (20 トン) を基準にして換算した重量 (以下「換算重量」という。)」を用いる。例えば車両総重量 24 トンの車両の換算重量は、交通荷重算定の対象を舗装とする場合は 41.5 トン ( $=20 \text{ トン} \times (24/20)^4$ )、橋梁とする場合は 178.3 トン ( $=20 \text{ トン} \times (24/20)^{12}$ ) となる。

以上より、次式で個々の車両の交通荷重と道路ネットワーク上の交通荷重の総量 (全区間:  $D_{all}$  トンキロ、橋梁区間:  $D_{bridge}$  トン回) を次式により算定した。

個車

$$(全区間) \quad D_{all,i} = \sum_{rs \in \Omega} \sum_{m \in M} \sum_{a \in L^{rs,m}} \frac{(W_i^{rs})^4}{20^3} \times \delta_i^{rs,m} \times l_a \quad (4-12)$$

$$(橋梁区間) \quad D_{bridge,i} = \sum_{rs \in \Omega} \sum_{m \in M} \sum_{a \in L^{rs,m}} \frac{(W_i^{rs})^{12}}{20^{11}} \times \delta_i^{rs,m} \times \delta_a^B \quad (4-13)$$

総量

$$(全区間) \quad D_{all} = \sum_{i \in I} D_{all,i} = \sum_{i \in I} \sum_{rs \in \Omega} \sum_{m \in M} \sum_{a \in L^{rs,m}} \frac{(W_i^{rs})^4}{20^3} \times \delta_i^{rs,m} \times l_a \quad (4-14)$$

$$(橋梁区間) \quad D_{bridge} = \sum_{i \in I} D_{bridge,i} = \sum_{i \in I} \sum_{rs \in \Omega} \sum_{m \in M} \sum_{a \in L^{rs,m}} \frac{(W_i^{rs})^{12}}{20^{11}} \times \delta_i^{rs,m} \times \delta_a^B \quad (4-15)$$

$$\text{s.t.} \quad W_i^{rs} > 0 \quad \forall i \in I \quad \forall rs \in \Omega$$

ここで、 $W_i^{rs}$  は OD ペア  $rs$  間の車両  $i$  の総重量である。他は章末の変数リストを参照されたい。

交通荷重の総量の推計結果を表 4-9 及び図 4-10 に示す。

表 4-9 交通荷重の総量

全区間	橋梁区間
交通荷重 ( $D_{all}$ ) 27,585,303 トン日	交通荷重 ( $D_{bridge}$ ) 16,544,637,775 トン回

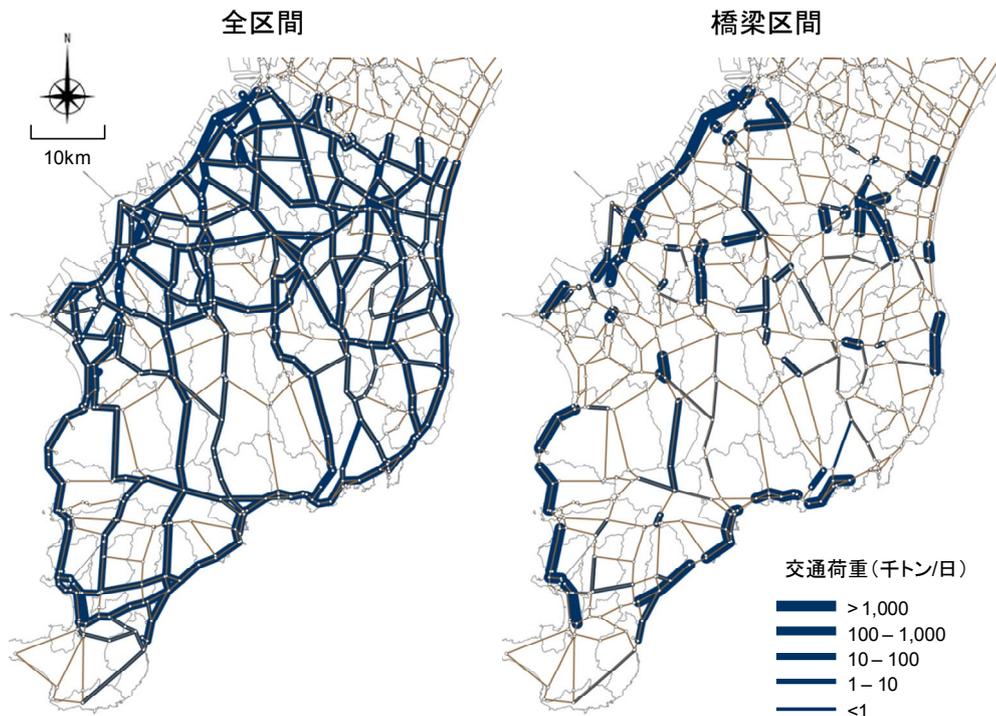


図 4-10 道路ネットワーク上の交通荷重

## 4.5 車重計の適切な配置方法（研究目的 1-1）

### 4.5.1 本節の目的と構成

4.4 までの分析により、検討対象エリアにおける全ての大型貨物車についての「走行経路」及び「交通荷重」を推計することができた。本節では、この推計結果を基にして 1.2 に示した「研究目的 1-1：交通量、経路、重量を指標とした複数の配置方法の効率性を評価し、車重計の適切な配置方法に関する知見を得ること」を目的とした分析を行う。

まず 4.5.2 では、配置方法の効率性を評価する指標を定義する。4.5.3 では評価対象とする複数の配置方法を定義する。4.5.4 では 4.5.3 で定義した配置方法により、検討対象エリアにおける車重計の配置箇所の選定を行う。4.5.5 では 4.5.2 で定義する指標などを用いて、それぞれの配置方法の効率性を評価する。

1.2 で述べたとおり、本稿では逐次決定による配置方法の提案を行う。また、本節では複数の配置方法の効率性の比較を目的とすることから、車載器搭載率は 100%とする。これを整理すると図 4-11 のとおりとなる。

	逐次決定	同時決定
車載器 搭載率 100%	<div style="border: 2px solid red; padding: 2px;">配置方法Ⅰ</div> <div style="border: 2px solid red; padding: 2px;">配置方法Ⅱ</div> <div style="border: 2px solid red; padding: 2px;">配置方法Ⅲ</div>	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">配置方法Ⅰ</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">配置方法Ⅱ</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">配置方法Ⅲ</div>
車載器 搭載率 100%未満	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">配置方法Ⅰ</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">配置方法Ⅱ</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">配置方法Ⅲ</div>	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">配置方法Ⅰ</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">配置方法Ⅱ</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">配置方法Ⅲ</div>

図 4-11 比較対象の配置方法

### 4.5.2 配置方法の効率性の評価指標（車重計カバー率）の定義

本項では、配置方法の効率性についての評価基準とする指標を定義する。1.2 で述べたとおり、少ない車重計で多くの交通荷重情報を収集できる箇所に車重計を配置することが望ましい。そこで「車重計で収集できる交通荷重情報の量」が「交通荷重情報の総量」に占める割合を「車重計カバー率」と定義し、これを用いて配置方法の効率性の評価を行うこととする。

1.3 で述べたとおり本研究では「舗装」及び「橋梁」における交通荷重情報を収集対象とする。このため車重計カバー率は、道路ネットワーク全体の舗装を対象とする「車重計カバー率<sub>全区間</sub>」と橋梁区間のみを対象とする「車重計カバー率<sub>橋梁区間</sub>」の2つ設定し、それぞれ次式により算定する。前者は、各車両の走行台キロ×換算重量（4 乗則）で表す「トンキロ」、後者は橋梁の通過回数×換算重量（12 乗則）で表す「トン回」をベースに算定する。

$$\text{車重計カバー率}_{\text{全区間}} = \frac{\text{収集できる交通荷重情報（トンキロ）}}{\text{交通荷重情報の総量（トンキロ）}}$$

$$\text{車重計カバー率}_{\text{橋梁区間}} = \frac{\text{橋梁区間で収集できる交通荷重情報（トン回）}}{\text{橋梁区間の交通荷重情報の総量（トン回）}}$$

これを以下のとおり定式化する。

$$R_{all}(u, p) = \frac{\sum_{i \in I} \sum_{rs \in \Omega} \sum_{m \in M} \sum_{a \in L^{rs,m}} (W_i^{rs})^4 \times l_a \times \delta_i^{rs,m} \times \delta^{rs,m}(u) \times \delta_i(p)}{\sum_{i \in I} \sum_{rs \in \Omega} \sum_{s \in S} \sum_{a \in L^{rs,m}} (W_i^{rs})^4 \times l_a} \quad (4-16)$$

$$R_{bridge}(u, p) = \frac{\sum_{i \in I} \sum_{rs \in \Omega} \sum_{m \in M} \sum_{a \in L^{rs,m}} (W_i^{rs})^{12} \times \delta_a^B \times \delta_i^{rs,m} \times \delta^{rs,m}(u) \times \delta_i(p)}{\sum_{i \in I} \sum_{rs \in \Omega} \sum_{m \in M} \sum_{a \in L^{rs,m}} (W_i^{rs})^{12} \times \delta_a^B} \quad (4-17)$$

$$\begin{aligned} \text{s.t. } & \delta^{rs,m}(u) \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad \forall rs \in \Omega \quad \forall m \in M \\ & \delta_i(p) \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad 0 < p \leq 1 \end{aligned}$$

ここで  $R_{all}(u, p)$  及び  $R_{bridge}(u, p)$  は重計カバー率<sub>全区間</sub>及び車重計カバー率<sub>橋梁区間</sub>で、検討対象エリアに配置する車重計の数  $u$  と車載器搭載率  $p$  ( $0 < p \leq 1$ ) の関数として表される。上記の式は、車両  $i$  ( $\in I$ ) が OD ペア  $rs$  ( $\in \Omega$ ) の経路  $m$  ( $\in M$ ) を走行し ( $\delta_i^{rs,m} = 1$ )、この経路上に車重計が配置され ( $\delta^{rs,m}(u) = 1$ )、かつ車載器を搭載している場合 ( $\delta_i(p) = 1$ ) に、OD ペア  $rs$  の経路  $m$  上の「全てのリンク」における交通荷重情報を収集できることを表している。

#### 4.5.3 車重計の配置方法 I ~ III の定義

本項では、評価対象とする複数の配置方法を定義する。1.2 で述べたとおり研究目的 1-1 は、「交通量」といった地点毎の簡易的な情報に基づいて箇所選定を行う場合と、「経路」、「重量」のような個々の車両に関する詳細な情報に基づいて箇所選定を行う場合とで、「収集できる交通荷重情報の量」にどの程度の差が生じるかを明らかにすることを目指す。そこで、本項では表 4-10 示す 3 つの配置箇所の選定方法を定義する。配置方法 I は地点毎の「交通量」、配置方法 II は「経路情報」、配置方法 III は経路情報に加えて各車両の「重量」に関する情報に基づいて車重計の配置箇所の選定を行う。

		走行車両に関する情報 → 詳細		
		交通量	走行経路	車両重量
配置方法 I	通過車両の「交通量」の多いリンクから順に配置	○		
配置方法 II	通過車両の「走行距離の和」の大きいリンクから順に配置		○	
配置方法 III	通過車両の「走行トンキロの和」の大きいリンクから順に配置		○	○

表 4-10 配置方法 I ~ III

つまり、配置方法ⅠからⅢの順に、より詳細な「走行車両に関する情報」が必要となる。もし、それぞれの配置方法で達成できる車重計カバー率に大きな差がないのであれば、「走行車両に関する情報」の調査費用等を考慮すると、配置方法Ⅰを用いることが望ましいことになる。

#### 4.5.3.1 仮想的な交通状況における配置方法Ⅰ～Ⅲを用いた箇所選定のイメージ

図 4-12 に示す仮想的な交通状況を例にして、各方法で配置箇所がどのように選定されるかを示す。道路ネットワーク上には 5 台の車両のみが走行しているとし、車両  $i$  の「走行距離  $L_i$  (km)」及び「車両総重量  $W_i$  (トン)」、「換算重量  $W^*_i (=W_i/20)^4 \times 20$  (トン)」並びにこれらの積で得られる「交通荷重 (トンキロ) ( $=L_i \times W^*_i$ )」を表 4-11 に示す。交通荷重の総量は 2,541.3 トンキロである。

配置方法Ⅰは、トラフィックカウンター等で計測する地点毎の「交通量」の大きい箇所から順次車重計を配置していくものである。図 4-12 のケースでは、交通量が最大の箇所 A (3 台) が 1 つ目の車重計の配置箇所として選定される (箇所 B 及び箇所 C の交通量は 2 台)。

配置方法Ⅱは、「個々の車両の走行経路」を推計することにより、捕捉できる車両の「走行距離 (走行台キロ)」の総和を最大とするように車重計を順次配置していく。図 4-12 のケースでは、箇所 B で捕捉できる車両数 (2 台) は箇所 A (3 台) より少ない。しかし走行距離の長い車両 (それぞれ 40km) を捕捉できることから、捕捉する車両の走行台キロが最大 (80km) である。このため配置方法Ⅱでは、箇所 B が 1 つ目の車重計の配置箇所として選定される。

配置方法Ⅲは、推計された走行経路に「車両重量」の情報を付加することにより、走行距離と換算重量の積で表される「走行トンキロ」を最大にするように車重計を順次配置していく。走行距離だけでなく重量を考慮することから、疲労損傷への影響が大きい車両を効率的に捕捉できる箇所に車重計を配置することができる。図 4-12 のケースでは、箇所 C (2,050 トンキロ) が 1 つ目の車重計の配置箇所として選定される。

箇所 A、箇所 B 及び箇所 C に車重計を 1 つ配置する場合、車重計カバー率はそれぞれ 19.3%、59.0%及び 80.7%となり、箇所 C に車重計を配置すると最大の車重計カバー率が得られる。このことから、箇所 C を配置箇所に選定した配置方法Ⅲが最も優れた配置方法である。また配置方法Ⅲを用いて配置箇所の選定を行うことで、「箇所 A を選定した配置方法Ⅰ」の 4.18 倍 (80.7%/19.3%)、「箇所 B を選定した配置方法Ⅱ」の 1.37 倍 (80.7%/19.3%) だけ多くの交通荷重情報を収集できるようになる。

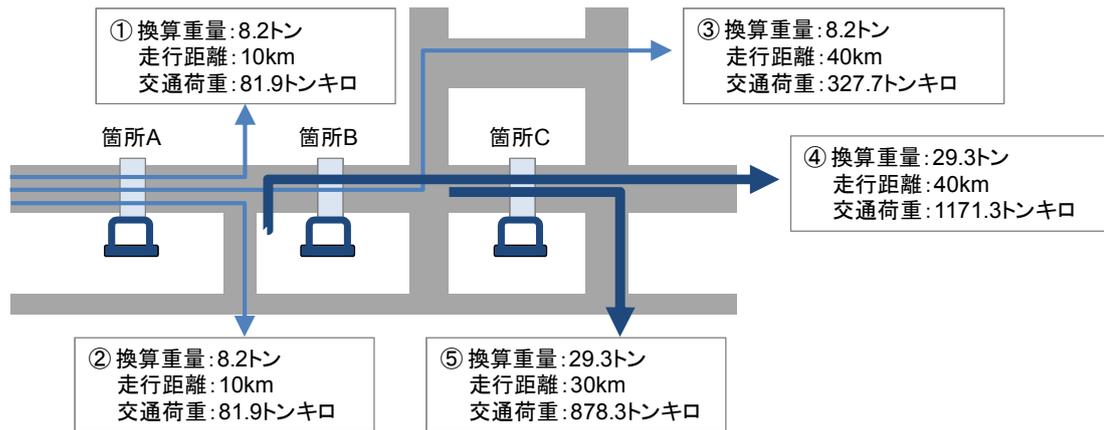


図 4-12 仮想的な交通状況

表 4-11 仮想的な交通状況での車重計の配置

	車両重量 W (トン)	換算重量 W* (トン)	走行距離 L (km)	走行トキロ L×W*	箇所 A	箇所 B	箇所 C
車両①	16.0	8.2	10	81.9	捕捉		
車両②	16.0	8.2	10	81.9	捕捉		
車両③	16.0	8.2	40	327.7	捕捉	捕捉	
車両④	22.0	29.3	40	1,171.3		捕捉	捕捉
車両⑤	22.0	29.3	30	878.5			捕捉
計	92.0	83.1	168	2,541.3			
■ 配置方法Ⅰ：捕捉できる車両の総数					3台	2台	2台
■ 配置方法Ⅱ：捕捉できる車両の総走行台キロ (=ΣL)					60	80	70
■ 配置方法Ⅲ：捕捉できる車両の総走行トキロ (=ΣL×W*)					492	1,499	2,050
車重計カバー率					19.3%	59.0%	80.7%

重量 (W) : 車両総重量

換算重量 (W\*) : 車両総重量 (W) を 4 乗則で換算した重量 (= (W/20)<sup>4</sup> × 20 トン)

#### 4.5.3.2 配置方法Ⅰ～Ⅲの具体的な方法

本項では 4.5.3.1 で示した配置方法Ⅰ～Ⅲの具体的な箇所選定の手順を示す。

##### ○「全区間」を対象とするケース

###### 配置方法Ⅰ

- ・ リンク交通量の多いリンクから順に車重計を配置。ただし、隣接するリンク等で交通量が同一のリンクが複数ある場合は、このうちの1つのみに配置する。

###### 配置方法Ⅱ

- ・ 「リンクを通過する車両の走行距離の和」が最大のリンクを探索し、1つ目の車重計を配置。
- ・  $n$  箇所に配置された車重計を通過しない車両を対象に、走行台キロが最大のリンクを探索し、 $n+1$  個目の車重計を配置 ( $n=1\sim N_{\max}-1$ )。

###### 配置方法Ⅲ

- ・ 「リンクを通過する車両の走行トンキロ (=走行距離×換算重量 (4 乗則)) の和」が最大のリンクを探索し、1つ目の車重計を配置。
- ・  $n$  箇所に配置された車重計を通過しない車両を対象に、走行トンキロを最大にするリンクを探索。 $n+1$  個目の車重計を配置 ( $n=1\sim N_{\max}-1$ )。

##### ○「橋梁区間のみ」を対象とするケース

###### 配置方法Ⅰ

- ・ リンク交通量の多いリンクから順に車重計を配置。ただし、隣接するリンク等で交通量が同一のリンクが複数ある場合は、このうちの1つのみに配置する。

###### 配置方法Ⅱ

- ・ 任意のリンクを通過する車両の走行経路から、「ネットワーク上の橋梁の総通過台数」を最大にするリンクを探索。このリンクに1つ目の車重計を配置。
- ・  $n$  箇所に配置された車重計を通過しない車両を対象に、「ネットワーク上の橋梁の総通過台数」を最大にするリンクを探索し、 $n+1$  個目の車重計を配置 ( $n=1\sim N_{\max}-1$ )。

###### 配置方法Ⅲ

- ・ 任意のリンクを通過する車両の走行経路から、「ネットワーク上の橋梁の換算重量 (12 乗則) の和」を最大にするリンクを探索。このリンクに1つ目の車重計を配置。
- ・  $n$  箇所に配置された車重計を通過しない車両を対象に、上記の「換算重量 (12 乗則) の和」を最大にするリンクを探索し、 $n+1$  個目の車重計を配置 ( $n=1\sim N_{\max}-1$ )。

## 4.5.3.3 配置方法の定式化

本項では前項で示した配置方法を定式化する。道路ネットワーク上に配置する車重計の総数を  $u$  とする。車重計は、道路ネットワーク上の単路部リンクに配置することが可能であるとし、この配置候補リンクを  $y$  ( $\in L$ ) で表す。 $L$  は検討対象エリア内にあるリンクの集合である。リンク  $y$  に車重計を配置する場合を 1 とするダミー変数を  $\delta_y(u)$  で表す。これは次式の制約を受ける。

$$\sum_{y \in L} \delta_y(u) = u \quad (4-18)$$

$$\text{s.t. } \delta_y(u) \in \{0,1\} \quad \forall y \in L \quad u \geq 1$$

また、OD ペア  $rs$  間の経路  $m$  を走行する車両を捕捉するための条件は次式で表すことができる。

$$\sum_{y \in L^{rs,m}} \delta_y(u) \geq 1 \quad (4-19)$$

$$\text{s.t. } \delta_y(u) \in \{0,1\} \quad \forall y \in L^{rs,m} \quad \forall rs \in \Omega \quad \forall m \in M$$

上式の左辺は、OD ペア  $rs$  間の経路  $m$  に配置する車重計の総数を示しており、これが 1 以上の場合に車両を捕捉することができることを表している。配置方法 I ~ III をフロー捕捉型の配置問題として以下のとおり記述する。

## 配置方法 I

$$\text{(全区間)} \quad \max. \quad \sum_{i \in I} \delta_i^a \times \delta^a(u) \quad (4-20)$$

$$\text{(橋梁区間)} \quad \max. \quad \sum_{i \in I} \delta_a^B \times \delta_i^a \times \delta^a(u) \quad (4-21)$$

## 配置方法 II

$$\text{(全区間)} \quad \max. \quad \sum_{i \in I} \sum_{rs \in \Omega} \sum_{m \in M} \sum_{a \in L^{rs,m}} l_a \times \delta_i^{rs,m} \times \delta^{rs,m}(u) \times \delta_i(p) \quad (4-22)$$

$$\text{(橋梁区間)} \quad \max. \quad \sum_{i \in I} \sum_{rs \in \Omega} \sum_{m \in M} \sum_{a \in L^{rs,m}} \delta_a^B \times \delta_i^{rs,m} \times \delta^{rs,m}(u) \times \delta_i(p) \quad (4-23)$$

## 配置方法 III

$$\text{(全区間)} \quad \max. \quad \sum_{i \in I} \sum_{rs \in \Omega} \sum_{m \in M} \sum_{a \in L^{rs,m}} (W_i^{rs})^4 \times l_a \times \delta_i^{rs,m} \times \delta^{rs,m}(u) \times \delta_i(p) \quad (4-24)$$

$$\text{(橋梁区間)} \quad \max. \quad \sum_{i \in I} \sum_{rs \in \Omega} \sum_{m \in M} \sum_{a \in L^{rs,m}} (W_i^{rs})^{12} \times \delta_a^B \times \delta_i^{rs,m} \times \delta^{rs,m}(u) \times \delta_i(p) \quad (4-25)$$

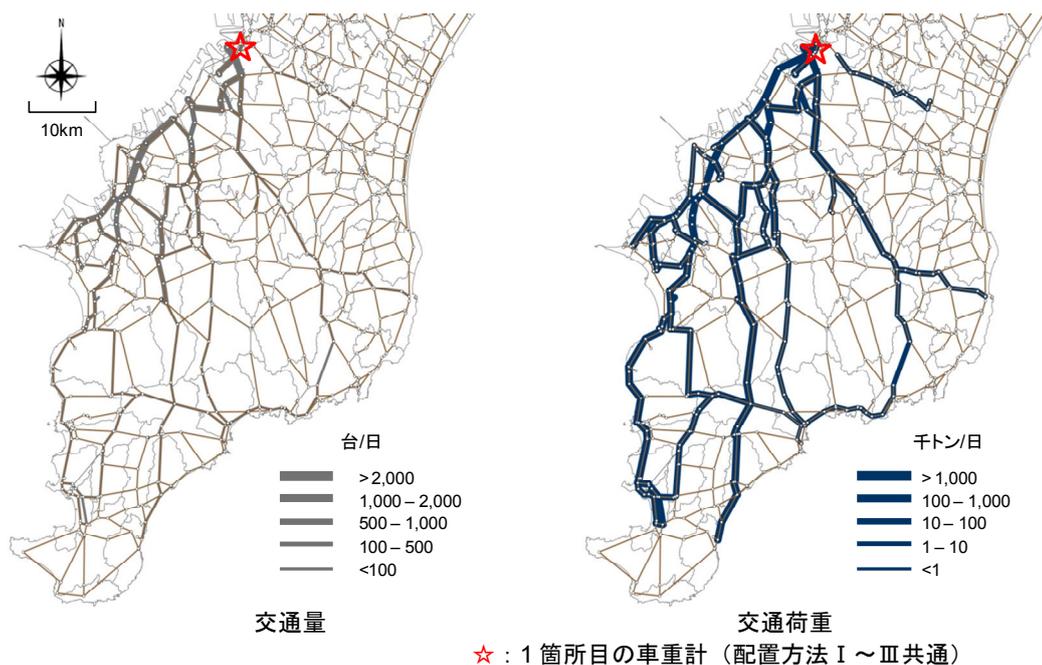
ここで、 $\delta_i^a$  は車両  $i$  がリンク  $a$  を通過する場合を 1 とするダミー変数。 $\delta^a(u)$  は検討対象エリアにおける車重計の総数を  $u$  とするときリンク  $a$  に車重計が配置される場合を 1 とするダミー変数である。

#### 4.5.4 車重計の配置箇所を選定

本項では、4.5.3 で定義した配置方法Ⅰ～Ⅲを用いて道路ネットワーク上の車重計の配置箇所を選定を行う。4.3 で示した大型貨物車の走行経路の推計結果を見ると、検討対象エリアにおける道路ネットワークを構成する 1,041 の単路部リンクのうち 565 リンクを大型貨物車が走行している。そこで、この 565 リンクを車重計配置の候補箇所とし、車重計カバー率が 100%、つまり検討対象エリアにおける全ての交通荷重情報を収集できるようになるまで配置方法Ⅰ～Ⅲを用いて箇所選定を行った。

対象を「全区間（舗装）」とするケースでの 1～3 箇所までの選定結果を以下に示す。4.5.3.2 に示した箇所選定の手順に従い、配置方法Ⅰ～Ⅲそれぞれで 1 箇所目の配置箇所の探索を行った。この結果 3 つの方法ともに「国道 16 号上のリンク（図 4-13 の「★」）」が選定された。このリンクに配置する車重計で捕捉できる車両の交通量及び交通荷重（リンク単位の集計値）を同図に示す。この際の車重計カバー率<sub>全区間</sub> ( $R_{all}(1, 1.00)$ ) は 55.09% となる。つまり、このリンクに車重計を配置することで、検討対象エリアにおける交通荷重の総量（27.6 百万トンキロ）の半分以上を把握することができるようになる。これは、図 4-9 に示したとおり分析対象トリップの多くが東京湾岸部を起点または終点としており、湾岸沿いの主要幹線道路である国道 16 号でこれらのトリップを効率的に捕捉できるためである。

図 4-14 は、1 箇所目の車重計で捕捉できない車両の交通量（配置方法Ⅰ、配置方法Ⅱ）及び交通荷重（配置方法Ⅲ）を示す。配置方法Ⅰ～Ⅲで選定した 2 箇所目の配置箇所を「☆」で示す。図 4-15 は、1 箇所目及び 2 箇所目の車重計で捕捉できない車両の交通量（配置方法Ⅰ、配置方法Ⅱ）及び交通荷重（配置方法Ⅲ）並びに「配置方法Ⅰ～Ⅲで選定した 3 箇所目の配置箇所（「★」）」を示す。



★：1 箇所目の車重計（配置方法Ⅰ～Ⅲ共通）  
 図 4-13 1 箇所目の車重計で捕捉できる車両の交通量及び交通荷重

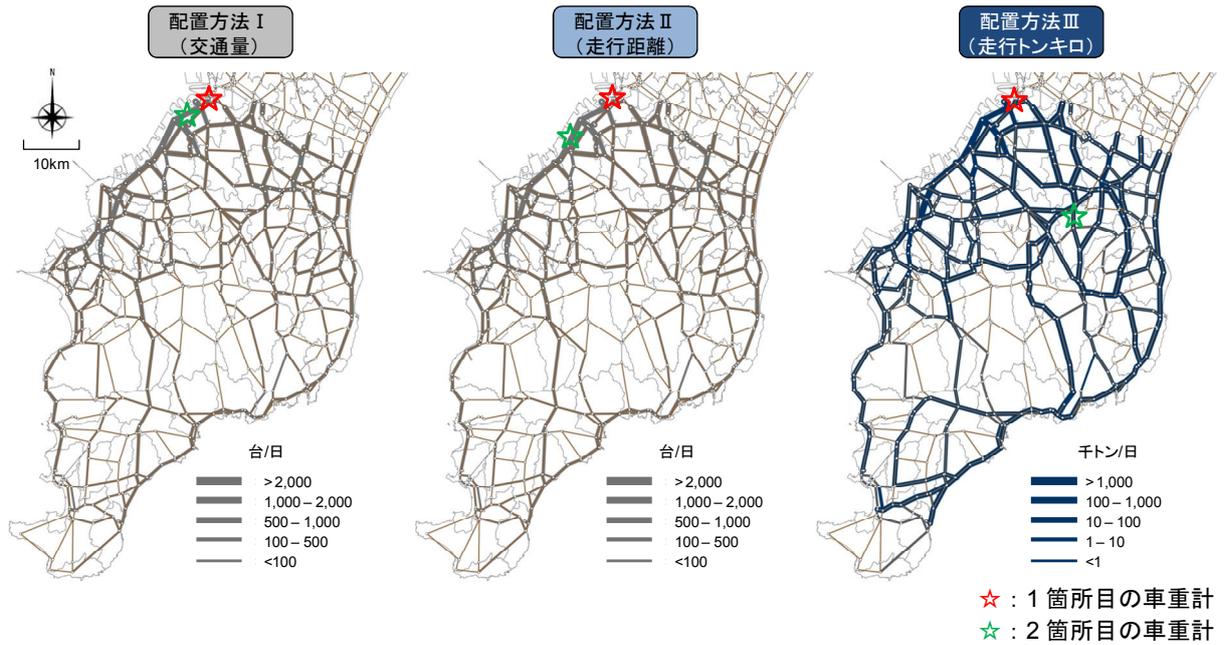


図 4-14 1箇所目の車重計で捕捉できない車両の交通量及び交通荷重

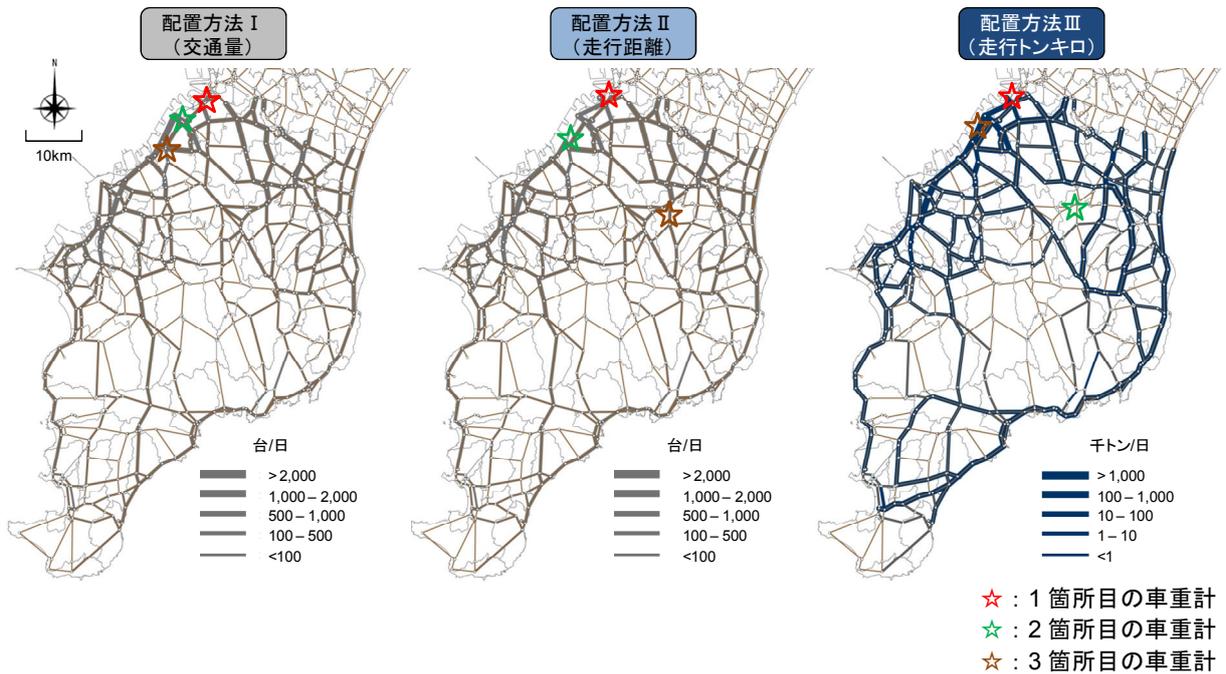


図 4-15 1箇所目及び2箇所目の車重計で捕捉できない車両の交通量及び交通荷重

配置方法Ⅰ、Ⅱ及びⅢで選定された配置箇所並びにこれにより捕捉できる車両の走行台キロ、交通荷重、車重計カバー率等を表 4-12 に示す。対象を「橋梁区間」として同様に算定した結果を表 4-13 に示す。「全区間」及び「橋梁区間」ともに全ての配置方法で、「リンク 1」が1つ目の配置箇所を選定された。

表 4-12 車重計の配置（1～3箇所）による車重計カバー率等（全区間）

配置数		■配置方法Ⅰ	■配置方法Ⅱ	■配置方法Ⅲ
1	リンク ID	リンク 1		
	路線名	国道 16 号 (市原市 6 区)		
	交通量	19,762	同左	同左
	走行台キロ (km)	311,282		
	交通荷重 (トン)	15,196,597		
	車重計カバー率	55.09%		
2	リンク ID	リンク 2	リンク 3	リンク 241
	路線名	国道 16 号 (市原市 6 区)	国道 16 号 (市原市 1 区)	国道 409 号 (長生郡長南町)
	交通量	21,385	22,878	21,014
	走行台キロ (km)	332,228	358,580	352,106
	交通荷重 (トン)	16,078,429	17,447,764	17,997,414
	車重計カバー率	58.29%	63.25%	65.24%
3	リンク ID	リンク 3	リンク 241	リンク 3
	路線名	国道 16 号 (市原市 1 区)	国道 409 号 (長生郡長南町)	国道 16 号 (市原市 1 区)
	交通量	23,552	24,130	24,130
	走行台キロ (km)	363,314	399,404	399,404
	交通荷重 (トン)	17,471,897	20,248,581	20,248,581
	車重計カバー率	63.34%	73.40%	73.40%

表 4-13 車重計の配置（1～3箇所）による車重計カバー率等（橋梁区間）

配置数		■配置方法Ⅰ	■配置方法Ⅱ	■配置方法Ⅲ
1	リンク ID	リンク 1		
	路線名	国道 16 号 (市原市 6 区)		
	通過回数	148,235	同左	同左
	交通荷重 (トン)	12,949,961,578		
車重計カバー率	78.27%			
2	リンク ID	リンク 2	リンク 21	
	路線名	国道 16 号 (市原市 6 区)	国道 16 号 (木更津市 1 区)	
	通過回数	158,174	181,904	同左
	交通荷重 (トン)	14,346,743,600	14,837,171,890	
車重計カバー率	86.72%	89.68%		
3	リンク ID	リンク 3	リンク 3	リンク 210
	路線名	国道 16 号 (市原市 1 区)	国道 16 号 (市原市 1 区)	国道 297 号 (市原市 2 区)
	通過回数	172,323	194,426	187,553
	交通荷重 (トン)	14,727,755,176	14,887,779,791	15,441,325,308
車重計カバー率	89.02%	89.99%	93.33%	

#### 4.5.5 配置方法の効率性の評価

前項では配置方法Ⅰ～Ⅲを用いて車重計の配置箇所を選定した。本項では、各方法で選定された車重計で得られる車重計カバー率などを用いて、配置方法Ⅰ～Ⅲの効率性の比較を行う。

##### 4.5.5.1 「車重計の追加配置に伴う車重計カバー率の増加量」に基づく評価

配置方法Ⅰ～Ⅲを用いて選定した車重計について、配置数と車重計カバー率との関係を図 4-16 に示す。配置方法Ⅲは上に凸となるカーブを描いている。これは「車重計の配置数」が増加するにつれて「車重計カバー率の増加量」が小さくなっていることを表している。つまり配置方法Ⅲでは、初期の段階から効率的に交通荷重情報を収集できる箇所を選定されていることがわかる。これに対し配置方法Ⅰや配置方法Ⅱでは、車重計の配置数が増加しても、車重計カバー率があまり増加しないところ（グラフが水平に近い箇所）がいくつか見られる。

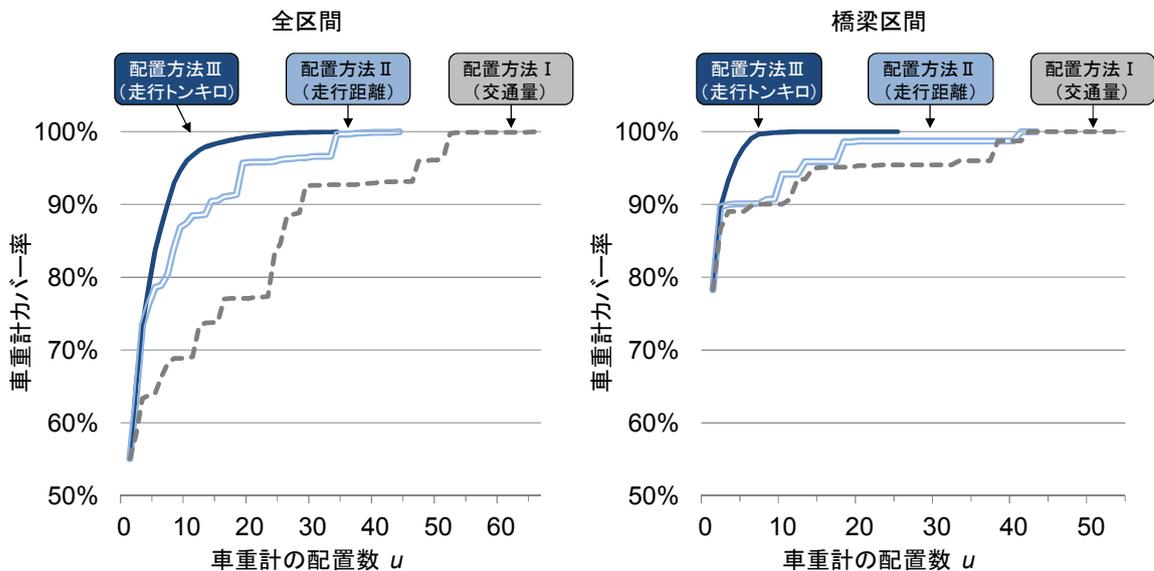


図 4-16 車重計の配置数と車重計カバー率との関係

表 4-12 及び表 4-13 に示したとおり、配置方法Ⅰ～Ⅲともに1つ目の配置箇所には「リンク 1」が選定された。つまり、1つの配置箇所を選定する際には、配置方法Ⅰ～Ⅲに差はない。しかし、2つ目以降は異なる箇所が選定されている。以下、これらを対象に、配置方法Ⅰ～Ⅲにおける車重計カバー率の変化を比較する。

図 4-16 より、車重計の追加配置に伴う車重計カバー率の増加量を算定すると図 4-17 及び図 4-18 のとおりとなる。配置方法Ⅲでは、2箇所目の車重計を配置すると車重計カバー率<sub>全区間</sub>は、55.09%から 65.24%まで 10.15 ポイント増加する。3箇所目以降の増加量は、8.16 ポイント、5.27 ポイント、5.02 ポイントと漸減している。これは、効率的に交通荷重情報を収集できる箇所が順に選定されていたことを示す。

一方、配置方法Ⅰでは2箇所目の車重計を配置する際の車重計カバー率<sub>全区間</sub>の増加量は3.20ポイント(55.09%→58.29%)に留まる。さらに、3箇所目以降に、車重計カバー率<sub>全区間</sub>の増加量がこの値(3.20ポイント)を超えるケースが6回見られる(3箇所目5.05ポイント増加、12箇所目4.17ポイント増加、24箇所目5.72ポイント増加等)。

配置方法Ⅱでは、2箇所目及び3箇所目に配置する車重計による車重計カバー率の増加量は、配置方法Ⅰと同程度であった(2箇所目8.16ポイント増加、3箇所目10.15ポイント増加)。また、4箇所目から6箇所目までの「車重計カバー率<sub>全区間</sub>の増加量」は2.87ポイント、2.32ポイント、0.26ポイントと減少していた。ところが、7箇所目、8箇所目では、車重計カバー率<sub>全区間</sub>の増加量はそれぞれ1.53ポイント、3.60ポイントとなり、4箇所目での増加量(2.87ポイント)を上回った。

これは、配置方法Ⅰ及び配置方法Ⅱでは、最適な順序で配置箇所が選定されていないことを示すものである。

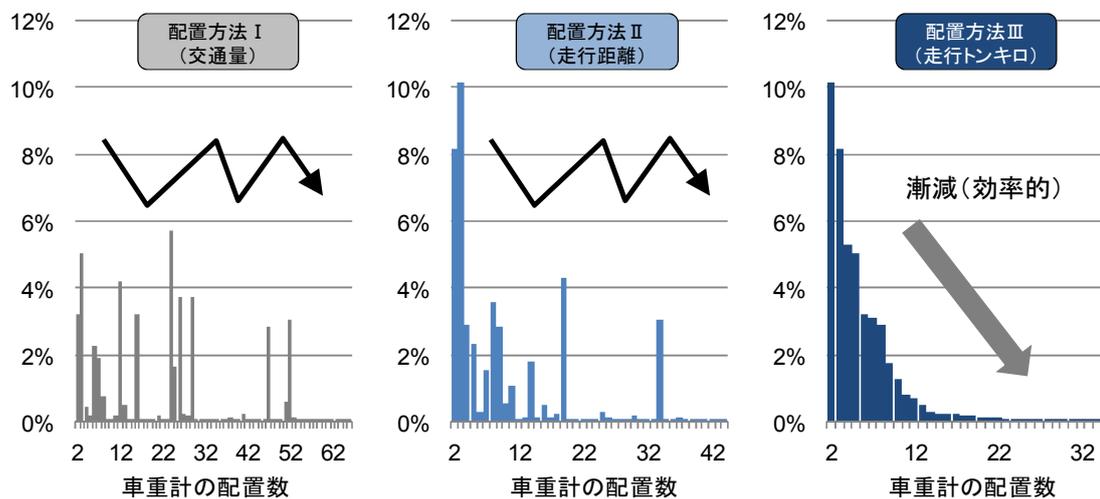


図 4-17 車重計の追加配置に伴う車重計カバー率の増加量 (全区間)

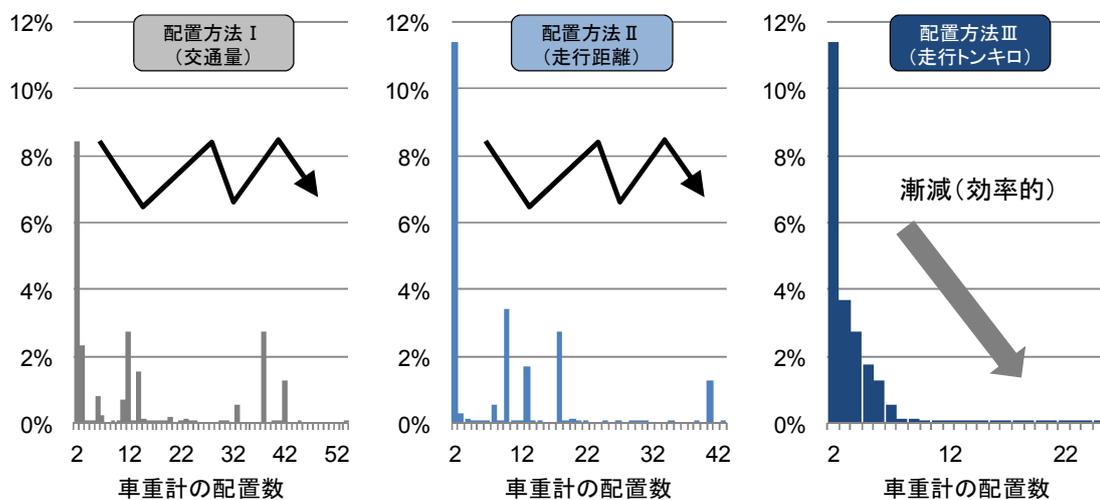


図 4-18 車重計の追加配置に伴う車重計カバー率の増加量 (橋梁区間)

## 4.5.5.2 「1箇所あたりの車重計カバー率」に基づく評価

車重計カバー率 90%を達成するために必要となる車重計の配置数 ( $u$ ) を図 4-19 に示す。これより、車重計 1 箇所あたりの車重計カバー率 ( $90\%/u$ ) を算定したものを図 4-20 に示す。例えば、車重計カバー率<sub>全区間</sub> 90%を達成するには配置方法 I を用いると 29 の車重計が必要となり、1 箇所あたりの車重計カバー率<sub>全区間</sub>は「3.1%/箇所」(= $90\%/29$ 箇所)となる。これに対し、配置方法 II 及び配置方法 III を用いて車重計の配置箇所を選定すると、1 箇所あたりの車重計カバー率<sub>全区間</sub>はそれぞれ「6.4%/箇所」、「12.9%/箇所」となる。これは、配置方法 I と比較して、配置方法 II では 2.07 倍 (= $6.4/3.1$ )、配置方法 III では 4.14 倍 (= $12.9/3.1$ ) だけ効率的に交通荷重情報を収集できる箇所が選定されていることを示している。

橋梁区間のみを対象とする場合には配置方法間での効率性の差が小さい（配置方法 II は配置方法 I の 1.75 倍 (= $22.5/12.9$ )、配置方法 III は 2.3 倍 (= $30.0/12.9$ )）。これは 4.2.2 で示したように、橋梁リンクの数 (181) が単路部リンクの数 (1,014) より少ないため、全区間を対象にする場合に比べて配置方法 III を用いることの効果が相対的に小さいためである。

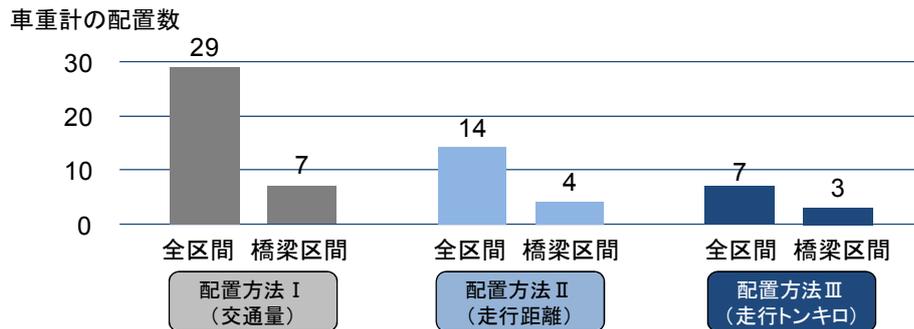
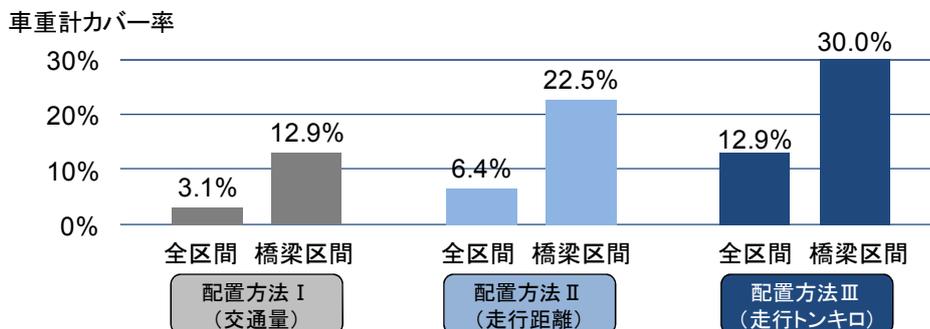
図 4-19 車重計カバー率 90%達成に必要な車重計の配置数 ( $u$ )

図 4-20 車重計 1 箇所あたりの車重計カバー率 (車重計カバー率 90%時)

4.5.5.3 「新規に車両を捕捉できる割合」に基づく評価

「既に配置した車重計を通過していない車両」をより多く捕捉できる箇所に車重計を配置すると、より効率的に交通荷重情報を収集することができる。そこで、 $u$  箇所目に配置する車重計で捕捉できる車両数を  $Q(u)$ 、このうち既に配置された  $u-1$  箇所の車重計で捕捉されている車両数を  $Q^*(u-1)$  とし、次式で表す指標を用いて配置方法 I ~ III の効率性を比較する。

$$RQ(u) = \frac{Q(u) - Q^*(u-1)}{Q(u)} \tag{4-26}$$

$$\text{s.t. } 2 \leq u \leq 34$$

$$Q(u) > Q^*(u-1) > 0$$

$RQ(u)$  は「 $u$  箇所目の車重計で捕捉する車両のうち、 $u-1$  箇所の車重計を通過していない車両の割合」を表す。指標の算定結果を図 4-21 に示す。また、これらの平均（車重計の配置数 10 未満の平均及び全体（配置数 34）の平均）を図 4-22 に示す。

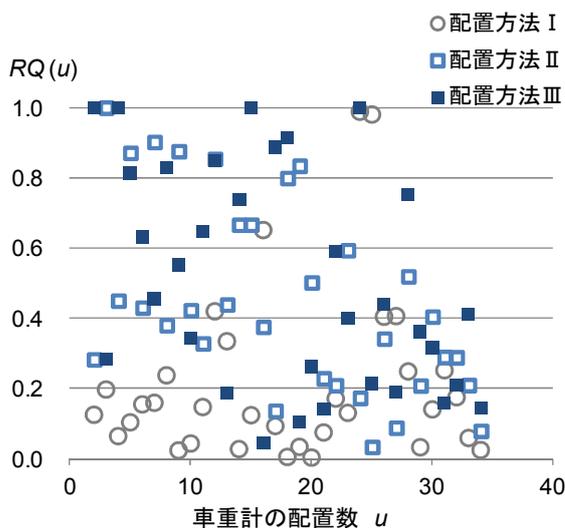


図 4-21 既存の車重計の非通過車両を新規に捕捉できる割合

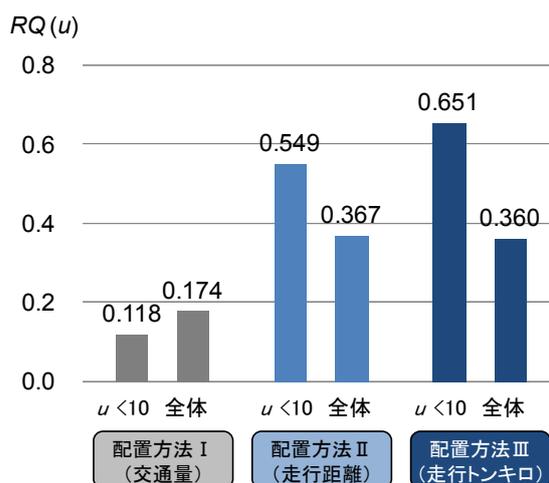


図 4-22 既存の車重計の非通過車両を新規に捕捉できる割合（平均）

配置方法 II 及び配置方法 III の値は、配置方法 I より大きい。つまり、配置方法 II 及び配置方法 III で選定された箇所では、既設の車重計で捕捉された車両が含まれる割合が小さい。特に、車重計の配置数が少ないケースでの差が大きい。例えば、配置数 10 未満での  $RQ(u)$  の平均は、配置方法 I : 0.118、配置方法 II : 0.549、配置方法 III : 0.651 となっている。この結果は、既存の車重計を通過していない車両を新規に捕捉するという点で、配置方法 II 及び配置方法 III は、配置方法 I と比較してそれぞれ 4.7 倍 ( $=0.549/0.118$ ) 及び 5.5 倍 ( $=0.651/0.118$ ) 効率性に優れることを示している。

これは、配置箇所を選定する際に「走行経路情報」を用いるか否かの違いに起因する

(表 4-10 参照)。配置方法Ⅱ及び配置方法Ⅲでは、走行経路情報に基づいて「既に配置された  $u-1$  箇所の車重計を通過するか否か」の判定を各車両について行い、車重計を通過していない車両のみを対象に  $u$  番目の配置箇所を選定している。これに対し走行経路情報を用いない配置方法Ⅰでは、車両が既存の車重計を通過したか否かにかかわらず、単純にリンク交通量に基づいて配置箇所を選定しているためである。

この結果より、次の知見が得られた：配置箇所の選定時に「走行経路情報」を用いることにより、「既存の車重計を通過していない車両を新規に捕捉できる割合」が5倍程度大きくなる（配置数が10箇所未満）。

## 4.6 逐次決定と同時決定の比較（研究目的 1-2）

### 4.6.1 本節の目的と構成

本節では、1.2 に示した「研究目的 1-2：逐次決定と同時決定とで得られる交通荷重情報の量を比較し、逐次決定により箇所選定を行うことの妥当性を確認する」ことを目的とした分析を行う。

まず 4.6.2 では「逐次決定」と「同時決定」による箇所選定の具体的な方法を示す。4.6.3 では、逐次決定と同時決定それぞれの長所と短所を示す。

4.6.4 では 4.6.2 で示す方法を用いて同時決定による箇所選定を行い、車重計カバー率などを比較することにより、逐次決定で箇所選定を行うことの妥当性を確認する。

なお本節では最も効率性に優れる配置方法Ⅲを用いる。また逐次決定と同時決定の違いの影響を把握することを目的とするため 4.5 と同様に車載器搭載率を 100% とする（図 4-23）。

	逐次決定	同時決定
車載器 搭載率 100%	配置方法Ⅰ	配置方法Ⅰ
	配置方法Ⅱ	配置方法Ⅱ
	配置方法Ⅲ	配置方法Ⅲ
車載器 搭載率 100%未満	配置方法Ⅰ	配置方法Ⅰ
	配置方法Ⅱ	配置方法Ⅱ
	配置方法Ⅲ	配置方法Ⅲ

図 4-23 比較対象の配置方法

### 4.6.2 逐次決定と同時決定による箇所選定方法

本項では、車重計配置の候補箇所  $N$  のうち  $u$  箇所 ( $u \geq 2$ ) に車重計を配置するケースを例に、「逐次決定」と「同時決定」による箇所選定の方法を示す。

#### 逐次決定

- ステップ 1 配置候補の  $N$  個のリンクそれぞれについて、下記の式(4-27)で表す  $I_{all}$ （リンクを通過する車両の走行トンキロ（=走行距離×換算重量）の和）を算定し、これが最大のリンクに 1 箇所目の車重計を配置する ( $n=1$ )。
- ステップ 2 車重計が配置されていない  $N-n$  個のリンクそれぞれについて「 $n$  箇所に配置された車重計」を通過しない車両を対象に  $I_{all}$  を算定し、これが最大となるリンクに  $n+1$  個目の車重計を配置する。
- ステップ 3  $n+1=u$  であれば終了。他は  $n=n+1$  としてステップ 2 に戻る。

#### 同時決定

配置候補の  $N$  個のリンクのうち「 $u$  箇所に車重計を配置する組合せ (=  ${}_N C_u$ )」それぞれについて式(4-27)で  $I_{all}$  を算定し、これが最大となる「 $u$  箇所の組合せ」に車重計を配置する。

$$I_{all} = \sum_{i \in I} \sum_{rs \in \Omega} \sum_{m \in M} \sum_{a \in L^{rs,m}} (W_i^{rs})^4 \times l_a \times \delta_i^{rs,m} \times \delta^{rs,m}(u) \quad (4-27)$$

### 4.6.3 逐次決定と同時決定の得失

本項では 1.2 で述べたとおり、道路ネットワークや OD 分布などが変化しない条件下での逐次決定及び同時決定の長所と短所を示す。

#### 4.6.3.1 最適解について

まず、図 4-24 に示す仮想的な交通状況を用いて、「最適解を得られないことがある」という逐次決定の短所を示す。ここでは  $L_1$ 、 $L_2$  及び  $L_3$  の 3 区間（各 1km）で構成される道路上に車両①～④の 4 台（換算重量 20 トン）のみが走行しているとする。各車両の交通荷重は次のとおりとする。

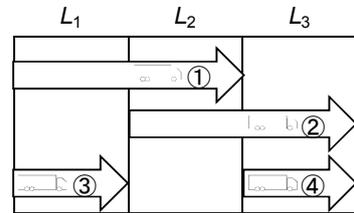


図 4-24 仮想的な交通状況

- 車両① 40 トンキロ (=2km (区間  $L_1+L_2$ ) × 20 トン)
- 車両② 40 トンキロ (=2km (区間  $L_2+L_3$ ) × 20 トン)
- 車両③ 20 トンキロ (=1km (区間  $L_1$ ) × 20 トン)
- 車両④ 20 トンキロ (=1km (区間  $L_3$ ) × 20 トン)

逐次決定と同時決定で「2 つの車重計」の箇所選定を行うと図 4-25 のとおりとなった。同時決定では、車重計カバー率を最大にする「2 つの配置箇所の組合せ」を一度に選定することから、車重計カバー率 100%となる「区間  $L_1$  及び区間  $L_3$ 」が選定される（図 4-25 下段）。逐次決定では、まず 1 つの車重計で最大の車重計カバー率（66%）が得られる「区間  $L_2$ 」が選定される（図 4-25 上段）。そして 2 つ目の配置箇所は残りの区間  $L_1$ 、区間  $L_3$  のどちらかになるが、いずれの場合も車重計カバー率は 83%となる（図 4-25 下段）。つまり、同時決定で得られた「車重計カバー率 100%」を逐次決定では達成することができない。以上より、逐次決定には「常に最適な配置箇所の組合せが選定されるとは限らない」という短所があることを示した。

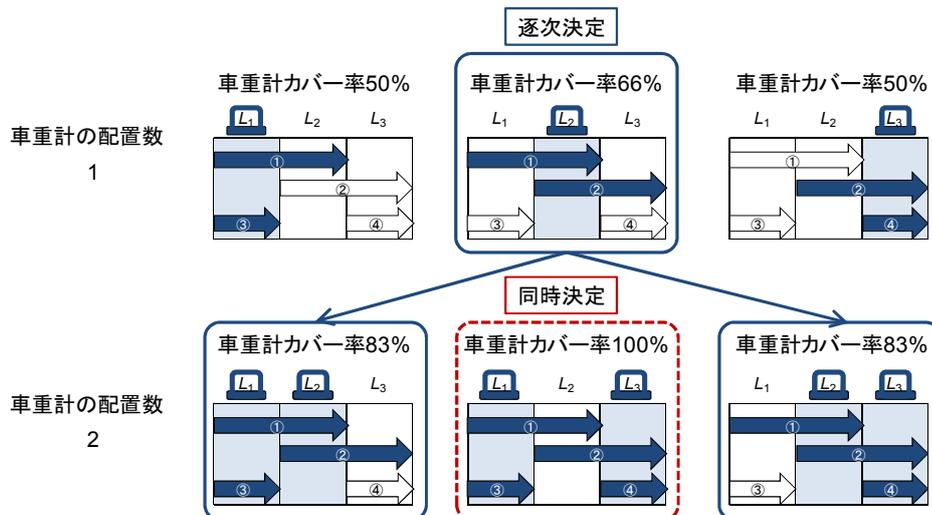


図 4-25 車重計を 2 箇所に配置する際の車重計カバー率

### 4.6.3.2 必要な計算数

逐次決定は同時決定と比較して必要な計算量が少なくて済むという長所があることを示す。4.5と同様に候補箇所を565リンクとし、1~564の箇所選定を逐次決定と同時決定で行う場合に必要となる計算数を算定すると図4-26のとおりとなる。

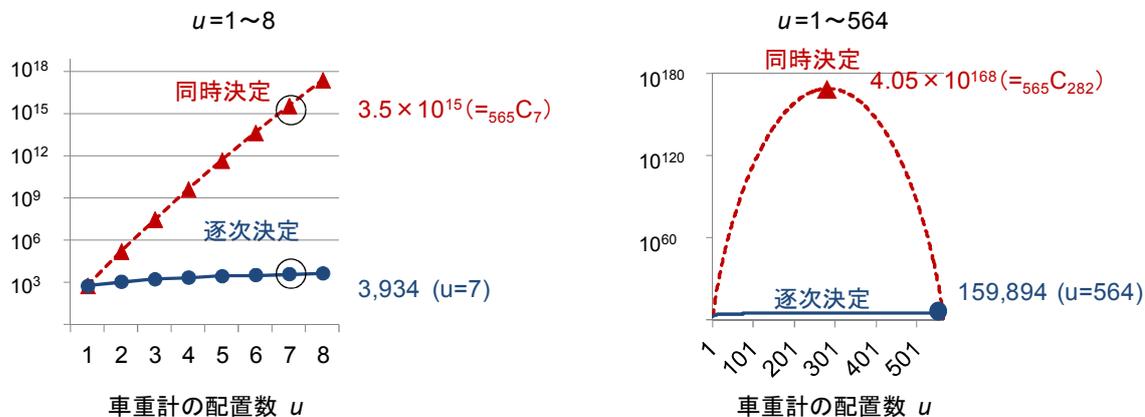


図 4-26 必要な計算数（逐次決定と同時決定の比較）

例えば7つの車重計の配置箇所を選定する場合（図4-26左）、同時決定では千兆を超える数の組合せ（ $3.5 \times 10^{15}$  (= <sub>565</sub>C<sub>7</sub>))の計算が必要になる。一方、逐次決定では3,934 (=565+564+...+559)で済む。

また、両者での最大の計算数を比較すると（図4-26右）、同時決定では  $4.05 \times 10^{168}$  (= <sub>565</sub>C<sub>282</sub>) となり（282箇所に配置するケース）、一般的な計算装置ではこの計算を行うことが困難である。これに対し逐次決定では 159,894 (=565+564+...+2) となる（564箇所に配置するケース）。以上より、逐次決定は同時決定と比較して必要な計算量が少なく、実務への適用性が高いことを示した。

#### 4.6.4 逐次決定と同時決定の車重計カバー率の比較

4.6.3 では、逐次決定は車重計カバー率を最大にする配置箇所の組合せを選定できないことがあるというデメリットを、仮想的な交通状況を用いて示した。そこで本項では、実際の道路ネットワークを用いて逐次決定と同時決定で得られる車重計カバー率を比較する。

##### 4.6.4.1 比較対象の配置数

図 4-26 に示したとおり同時決定では計算量が膨大となる。このため、限られた数の車重計を配置するケースを対象に逐次決定と同時決定の比較を行うこととする。

図 4-16 を見ると、車重計を 6 箇所に配置する際の車重計カバー率は 86.90% で、これに 1 箇所追加しても車重計カバー率は 3.08 ポイントしか増加しない(86.90%→89.98%)。実務において、既に 86.90% の交通荷重を把握している状態から 3.08 ポイント増加させるために車重計を追加配置することは考え難い。このため、車重計の配置数  $u$  を 2、3、4、5 及び 6 とする 5 つのケースを対象とする。

##### 4.6.4.2 分析方法

検討対象エリアにおいて大型貨物車が走行している 565 リンクを車重計配置の候補箇所とする。4.6.2 に示した方法を用いて、車重計の配置数  $u$  を 2、3、4、5 及び 6 とする 5 つのケースそれぞれで、同時決定による配置箇所の組合せを選定して車重計カバー率を算定した。逐次決定については、4.5 での算定結果を用いた。

##### 4.6.4.3 分析結果

逐次決定による車重計カバー率と、同時決定による車重計カバー率の上位 3 つを表 4-14 に示す。

配置数  $u = 1 \sim 4$  のケースでは「同時決定で得られる最大の車重計カバー率」と「逐次決定での車重計カバー率」は全て一致した。これに対し配置数  $u = 5$  及び  $u = 6$  のケースでは「逐次決定での車重計カバー率」は「同時決定の最大の車重計カバー率」より小さい値となった。ただし両者の差を見ると、配置数  $u = 5$  では 0.166 ポイント(逐次:83.69%、同時:83.86%)、 $u = 6$  では 0.037 ポイント(逐次:86.90%、同時:86.94%)と極わずかである。これは、検討対象エリアにおいて 6 箇所程度までの箇所選定を行う場合、逐次決定を用いても同時決定と同等の車重計カバー率を得ることができることを示唆している。

表 4-14 逐次決定及び同時決定で選定される配置箇所の組合せ

配置数	配置方法	配置箇所（リンク番号）						車重計カバー率 (同時決定1位との差)		
u = 2	逐次決定	1	241					65.24% (0.00%)		
	同時決定	1位	1	241					65.24%	
		2位	1	3					63.25%	
		3位	1	13					62.87%	
u = 3	逐次決定	1	3	241				73.40% (0.00%)		
	同時決定	1位	1	3	241				73.40%	
		2位	1	13	241				73.02%	
		3位	1	21	241				72.58%	
u = 4	逐次決定	1	3	241	523			78.67% (0.00%)		
	同時決定	1位	1	3	241	523			78.67%	
		2位	1	13	208	241			78.59%	
		3位	1	3	208	241			78.42%	
u = 5	逐次決定	1	3	208	241	523		83.69% (0.166%)		
	同時決定	1位	1	13	208	241	523		83.86%	
		2位	1	3	208	241	523		83.69%	
		3位	1	13	209	241	523		83.49%	
u = 6	逐次決定	1	3	26	208	241	523		86.90% (0.037%)	
	同時決定	1位	1	13	181	208	241	523		86.94%
		2位	1	3	26	208	241	523		86.90%
		3位	1	13	209	241	345	523		86.79%

同時決定でのハイライト表示は「逐次決定での選定箇所と同じ箇所（リンク番号）」を示す。

#### 4.6.5 考察

前項では検討対象エリアにおいて6箇所までの箇所選定を行う場合、「逐次決定」と「同時決定」とで得られる車重計カバー率に差がないことを示した。

ただし、本章における検討対象エリアの特殊性を考慮した上でこの結果を扱う必要がある。図 4-9 に示したとおり、本章での検討対象エリアでは京葉臨海工業地帯など東京湾沿いを発着する重量車両の割合が大きく、OD 分布に大きな偏りが見られる。この場合、OD が均一に分布している場合と比べると、一定数の車両を捕捉するために必要となる車重計が少なくて済む（図 4-27）。つまり、車重計の配置箇所の選択肢が少ない。これにより、逐次決定を用いても同時決定と同程度の車重計カバー率を得られるという結果になった可能性がある。

今後、道路ネットワーク構造やODの分布が異なるエリアを対象に「逐次決定」と「同時決定」による選定箇所や車重計カバー率の差異を分析し、実務において逐次決定による箇所選定を行うことができる条件を特定するなどの研究を行う必要がある。

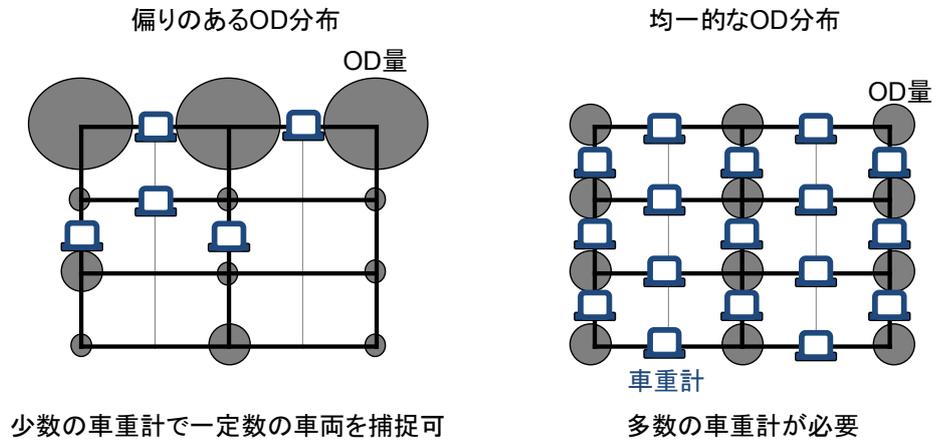


図 4-27 OD 分布と車重計配置のイメージ

## 4.7 必要な車重計数の把握方法（研究目的 1-3）

### 4.7.1 本節の目的と構成

本節では、1.2 に示した「研究目的 1-3：車載器搭載率を考慮して、所要の交通荷重情報を収集するために必要となる「車重計の配置数」を把握する方法を構築する」ことを目的とした分析を行う。

4.5.4 では「車重計の配置数」と「車重計カバー率」との関係を示した。しかし、複数の配置方法の効率性を比較することを目的としていたことから、車載器搭載率を 100% ( $p=1.00$ )、つまり全ての車両が車載器を搭載している ( $\delta_i(p)=1$ ) 条件で分析を行っていた。必要となる「車重計の配置数」は「車載器搭載率」によっても異なるため、本節では車載器搭載率を 100%未満とするケース ( $p < 1.00$ ) について「車重計の配置数」と「車重計カバー率」との関係を明らかにする方法を構築する。これにより、検討対象エリアにおいて必要となる車重計の配置数を把握し、複数年にわたる車重計の配置計画を策定する際の基礎資料を提供することを目指す。

4.7.2 では、車載器搭載率を考慮して「車重計の配置数と車重計カバー率との関係」を求める方法を提案する。4.7.3 では層化抽出を行うための「走行距離帯毎の車載器搭載率」を設定する。4.7.4 では、検討対象エリアを発着する大型貨物車の 51,210 トリップから、4.7.3 で設定する車載器搭載率に基づく層化抽出を行うことにより、走行距離帯毎の車載器搭載率の差を反映した「トリップ OD データセット」を作成する。4.7.5 では、4.7.4 で作成したトリップ OD データセットを対象に車重計の配置箇所を選定する。4.7.6 では車重計の配置数と車重計カバー率との関係を求め、目標とする車重計カバー率を達成するために必要となる車重計の配置数を算定する。最後に 4.7.7 では本節で用いた分析方法の有効性を確認する。

4.5 及び 4.6 より、本章での検討対象エリアでは 2 箇所以上の車重計を配置する場合は配置方法Ⅲによる箇所選定が最も効率的であり、さらに逐次決定によっても同時決定と同等の車重計カバー率を達成できるという知見が得られた。このため本節での分析には「逐次決定」による「配置方法Ⅲ」を用いる（図 4-28）。

	逐次決定	同時決定
車載器 搭載率 100%	配置方法Ⅰ	配置方法Ⅰ
	配置方法Ⅱ	配置方法Ⅱ
	配置方法Ⅲ	配置方法Ⅲ
車載器 搭載率 100%未満	配置方法Ⅰ	配置方法Ⅰ
	配置方法Ⅱ	配置方法Ⅱ
	配置方法Ⅲ	配置方法Ⅲ

図 4-28 分析に用いる配置方法

### 4.7.2 車載器搭載率を考慮した配置箇所の検討方法

車載器搭載率が 100%未満 ( $p < 1.00$ )、つまり一部の車両のみ位置情報を把握することができるケースにおいて「車重計の配置数と車重計カバー率との関係」を求める方法を考える。もし全ての OD ペア間で車載器搭載率が一律  $p$  であるとする、車載器搭載率 100% ( $p = 1.00$ ) のケースでの分析結果から得られる「車重計の配置数と車重計カバー率との関係式」を  $y$  軸方向に  $p$  倍するだけでよい (図 4-29)。

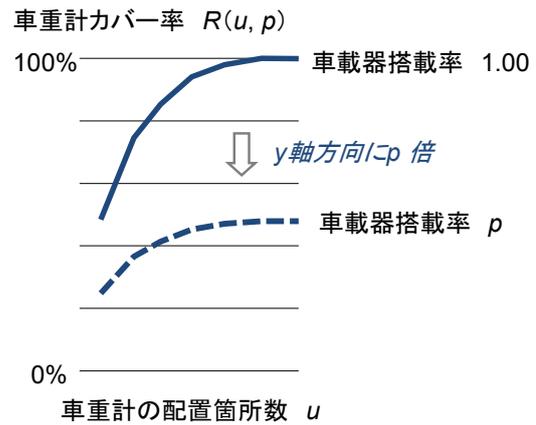


図 4-29 車載器搭載率と車重計カバー率

しかし、長距離輸送を行う車両ほど、車載器搭載率が高いことが想定される。なぜなら長距離輸送時には、広域的な経路案内をはじめとする ETC2.0 サービスが提供する情報を活用するニーズが高いからである。つまり車載器搭載率は、全ての OD ペアで同一の値とするのではなく、走行距離に応じて異なる値を設定する必要があると考える (図 4-30 右)。

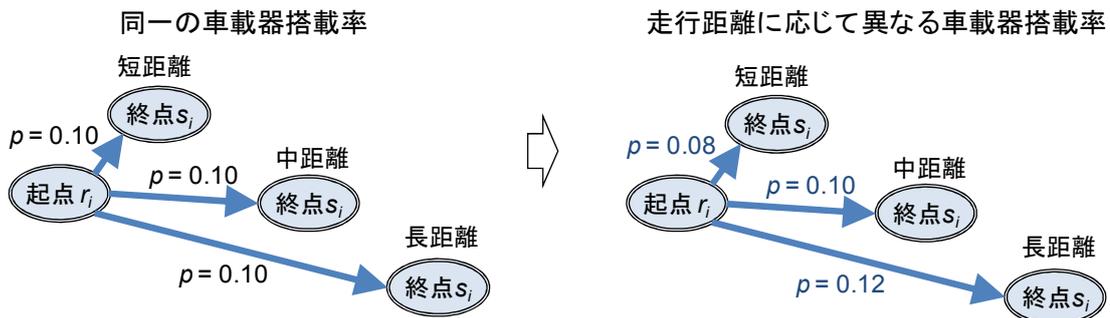


図 4-30 車載器搭載率 ( $p$ ) の設定イメージ

このため、まず「長距離輸送を行う車両ほど車載器搭載率が高い」傾向があることを確認する。分析対象の大型貨物車 394 台 (拡大補正前) について、「1 日の走行距離」及び「ETC 車載器搭載の有無」をオーナーマスターデータから把握した。なお、ここでの ETC 車載器は 1 章で述べた ETC2.0 車載器とは異なる。しかし、ETC2.0 車載器と走行距離との関係を分析するために必要な基礎資料がないため、ETC 車載器の搭載状況を分析に用いた。

「1 日の走行距離」が不明を示す「0」となっていた車両 13 台を除く 381 台を対象に、走行距離帯毎に ETC 車載器の搭載率 (以下「ETC 搭載率」という。) を算定した。結果を表 4-15 及び図 4-31 に示す。

表 4-15 1日の走行距離と ETC 搭載率

1日の走行距離	ETC あり (①)	ETC なし (②)	不明	計	ETC 搭載率 ①/(①+②)
50km 未満	6	26	3	35	18.8%
50~100 km	9	16	0	25	36.0%
100~150 km	16	9	2	27	64.0%
150~200 km	31	8	2	41	79.5%
200 km 超	219	32	2	253	87.3%
計	281	91	9	381	75.5%

これは、1日の走行距離が長い車両ほど ETC 搭載率が高くなる傾向があることを示している。特に、1日に 200km 超の輸送を行っている車両の ETC 搭載率 (87.3%) は、50km 未満 (18.8%) の車両の 4 倍以上となっていた。なお、ETC 搭載率の算定には「拡大補正前の値 (394 台等)」を用いている。これは、母集団推計のための拡大係数が「ETC 車載器の設置の有無」を考慮して設定されたものではないためである。以上のことから、車載器搭載率  $p < 1.00$  ケースについては、走行距離帯毎の車載器搭載率に基づく層化抽出法によるランダムサンプリングを行うこととする。そして、抽出されたトリップを対象に車重計の配置数と車重計カバー率との関係进行分析する。なお、同一の車両が 1日に複数のトリップを行う場合、トリップ毎に車載器搭載有無の想定が異なることは実態と矛盾するため、ランダムサンプリングはトリップ単位でなく車両単位で行う。検討対象エリアの平均的な車載器搭載率を  $p = 0.05, 0.10, 0.25$  及び  $0.50$  の 4 ケースとする。

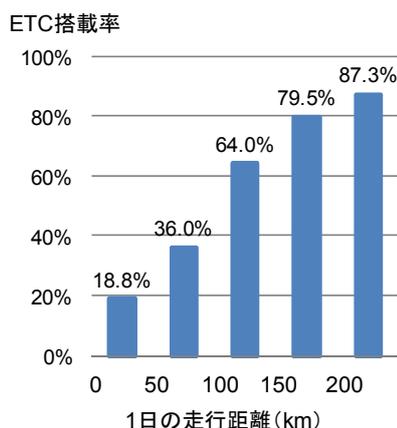


図 4-31 ETC 搭載率

### 4.7.3 走行距離帯毎の車載器搭載率の設定

本項では層化抽出法によるランダムサンプリングに必要となる「走行距離帯毎の車載器搭載率」を設定する。走行距離帯は「短距離帯」「中距離帯」及び「長距離帯」の 3 区分とし、分析対象車両の 1 日の走行距離から設定する。具体的な方法を以下に示す。前節で示した大型貨物車 15,811 台 (381 台の拡大補正後の値) の「1 日の走行距離」の分布を図 4-32 に示す。これを台数ベースで

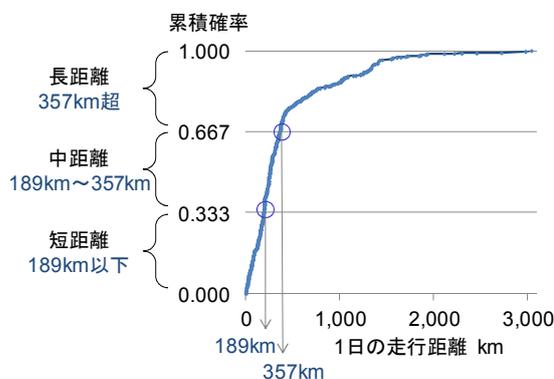
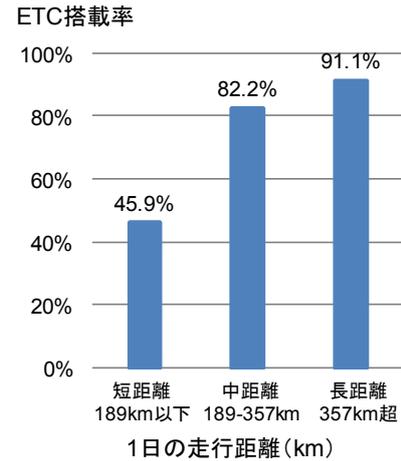


図 4-32 一日の走行距離の分布

3等分する距離を求めると、189km及び357kmとなった。これより3つの走行距離帯を次のとおりとした。

- 短距離帯：189km以下 (5,270台)
  - 中距離帯：189km超～357km (5,271台)
  - 長距離帯：357km超 (5,270台)
- (計 15,811台)



各走行距離帯におけるETC搭載率を算定すると、図4-33及び表4-16のとおりとなった。短距離帯のETC車載器の搭載率(45.9%)は、長距離帯の値の(91.1%)の半分程度であった。

図 4-33 ETC 搭載率(3 距離帯)

表 4-16 走行距離帯毎の ETC 搭載率

1日の走行距離		ETCあり (①)	ETCなし (②)	不明	計	ETC 搭載率 ①/(①+②)
短距離帯	189km以下	50	59	7	116	45.9% (1.00)
中距離帯	189km超 357km以下	88	19	1	108	82.2% (1.79)
長距離帯	357km超	143	14	1	158	91.1% (1.99)
計		281	91	9	381	75.5%

この「走行距離帯毎のETC搭載率」を用いて「検討対象エリアを発着する車両の平均的な車載器搭載率(0.05、0.10、0.25及び0.50)」を重み付けすることにより、「走行距離帯毎の車載器搭載率」を表4-17のとおり設定した。これによりランダムサンプリングする車両数を算定すると表4-18のとおりとなった。例えば「平均的な車載器搭載率5%」を想定した分析において、分析対象の16,387台(394台の拡大補正後の値)の5%にあたる819台を抽出する場合、短距離帯では抽出率3.14%で171台、中距離帯では抽出率5.63%で307台、長距離帯では抽出率6.23%で341台を単純無作為抽出する。

表 4-17 走行距離帯毎の車載器搭載率

走行距離帯	ETC 搭載率	重み付け 係数	車載器搭載率 (p)				
			0.05	0.10	0.25	0.50	1.00
短距離帯	45.9%	0.209	3.14%	6.28%	15.70%	31.39%	100%
中距離帯	82.2%	0.375	5.63%	11.26%	28.14%	56.28%	100%
長距離帯	91.1%	0.416	6.23%	12.47%	31.16%	62.33%	100%
計	—	1.000	—	—	—	—	—

表 4-18 走行距離帯毎の車載器搭載率に応じて抽出される車両数

走行距離帯	車両数	車載器搭載率 ( $p$ )				
		0.05	0.10	0.25	0.50	1.00
短距離帯	5,462	171	342	857	1,714	5,462
中距離帯	5,463	307	614	1,537	3,074	5,463
長距離帯	5,462	341	681	1,703	3,405	5,462
計	16,387	819	1,637	4,097	8,193	16,387

## 4.7.4 車載器搭載率を考慮した「トリップ OD データセット」の作成

本項では、検討対象エリアを発着する大型貨物車 16,387 台から、前項で設定した車載器搭載率によるランダムサンプリングを行うことにより、「走行距離帯毎の車載器搭載率の差を反映したトリップ OD データセット」を作成する。車載器搭載率  $p=0.05$  とするケースを例に算定の流れを示す。前項で示したとおり、車載器搭載率  $p=0.05$  では、走行距離帯毎の車載器搭載率に基づく層化抽出法により、16,387 台から 819 台をランダムサンプリングする。これを 10 回繰り返すと、10 通りの車両の組合せが得られる。検討対象エリア内における 819 台の「トリップ数」「走行台キロ」「交通荷重<sub>全区間</sub>」及び「交通荷重<sub>橋梁区間</sub>」を表 4-19 に示す。変動係数 (=標準偏差/平均) を比較すると、「トリップ数 : 0.068」、「走行台キロ : 0.101」、「交通荷重<sub>全区間</sub> : 0.331」、「交通荷重<sub>橋梁区間</sub> : 0.734」の順に大きくなっていった。これは「走行台キロ」は個々の車両の「走行距離のばらつき」の影響を受け、「交通荷重」はこれに加えて個々の車両の「重量のばらつき」の影響を受けるためである。同様の方法で、車載器搭載率  $p=0.10$ 、 $0.25$  及び  $0.50$  のケースについてもトリップ OD データセットを作成し、合計 40 (=4 ケース×10 試行) のトリップ OD データセットを作成した。

表 4-19 抽出された 10 通りの車両 (819 台) についての指標 (車載器搭載率  $p=0.05$ )

	トリップ数	走行台キロ	交通荷重 <sub>全区間</sub> 百万トンキロ	交通荷重 <sub>橋梁区間</sub> 百万トン回
試行 1	2,338	31,686	1.21	129.35
試行 2	2,474	36,523	1.27	117.25
試行 3	2,259	30,376	1.82	3,183.44
試行 4	2,124	40,269	1.67	1,935.91
試行 5	2,218	33,841	2.48	1,398.13
試行 6	2,232	28,587	1.08	970.51
試行 7	2,268	31,767	1.47	1,385.25
試行 8	2,070	29,882	0.54	172.57
試行 9	2,155	34,127	1.55	1,344.81
試行 10	2,604	35,589	1.82	1,855.38
変動係数	0.068	0.101	0.331	0.734

#### 4.7.5 車重計の配置箇所の選定

前項では、「走行距離帯毎の車載器搭載率の差を反映したトリップ OD データセット」を作成した。本項では、このトリップ OD データセットを対象に、4.5.4 に示した配置方法Ⅲを用いて車重計の配置箇所を選定する。4.5.4 では、車載器搭載率を 100%として全ての車両が車載器を搭載している条件で分析を行っており、全ての  $\delta_i(p)$  を 1 とした。なお  $\delta_i(p)$  は、車載器搭載率を  $p$  とするケースで車両  $i$  が車載器を搭載している場合を 1 とするダミー変数である。

これに対し本節では各車両の車載器搭載の有無を考慮することから、検討対象エリアの車載器搭載率  $p$  に応じて車両  $i$  の  $\delta_i(p)$  を 1 または 0 とする。具体的には、分析対象の 16,387 台のうち、前項のランダムサンプリングで抽出されてトリップ OD データセットに組み込まれた車両については  $\delta_i(p) = 1$ 、抽出されない車両については  $\delta_i(p) = 0$  とする。なお各車両の  $\delta_i(p)$  は、車載器搭載率  $p = 0.05, 0.10, 0.25$  及び  $0.50$  の 4 ケースそれぞれで異なる値となる。

4 ケース×10 試行の 40 のトリップ OD データセットそれぞれにおいて、4.5.4 と同様に次の手順で箇所選定を行った。表 4-20 は、車載器搭載率  $p = 1.00$  のケースと車載器搭載率  $p = 0.05$  のケースで選定された車重計の配置箇所（1～5 箇所）を整理したものである。車載器搭載率  $p = 1.00$  のケースで 1 箇所目に選定された「リンク 1」が、車載器搭載率  $p = 0.05$  でも 1 箇所目に選定されたのは、10 回の試行のうち 4 回のみである（試行 5、試行 6、試行 8 及び試行 10）。残りの 6 回の試行では、2 箇所目から 4 箇所目の配置箇所として「リンク 1」が選定されている。また、車載器搭載率  $p = 1.00$  のケースで 2 箇所目に選定された「リンク 241」が、車載器搭載率  $p = 0.05$  のケースで 5 箇所目までに選定されたのは、試行 6 及び試行 10 の 2 ケースのみであった。

表 4-20 選定された配置箇所（リンク ID）の比較（車載器搭載率  $p = 1.00$  及び  $p = 0.05$ ）

車重計の配置数 $u$	車載器搭載率 $p=1.00$	車載器搭載率 $p=0.05$									
		試行1	試行2	試行3	試行4	試行5	試行6	試行7	試行8	試行9	試行10
1	1	3	3	3	3	1	1	3	1	3	1
2	241	617	13	210	355	208	968	1	351	617	241
3	3	1	1	1	396	513	241	968	207	1	1012
4	523	968	208	207	1	241	26	23	968	209	968
5	208	22	617	372	207	968	209	241	68	968	26

#### 4.7.6 車重計の配置数と車重計カバー率との関係

4 ケース ( $p = 0.50, 0.10, 0.25$  及び  $0.50$ ) × 10 試行の 40 のトリップ OD データセットそれぞれについて車重計の箇所選定を行い「車重計の配置数と車重計カバー率との関係」を求めると図 4-34 のとおりとなった。青線は「10 試行における車重計カバー率」の平均である。

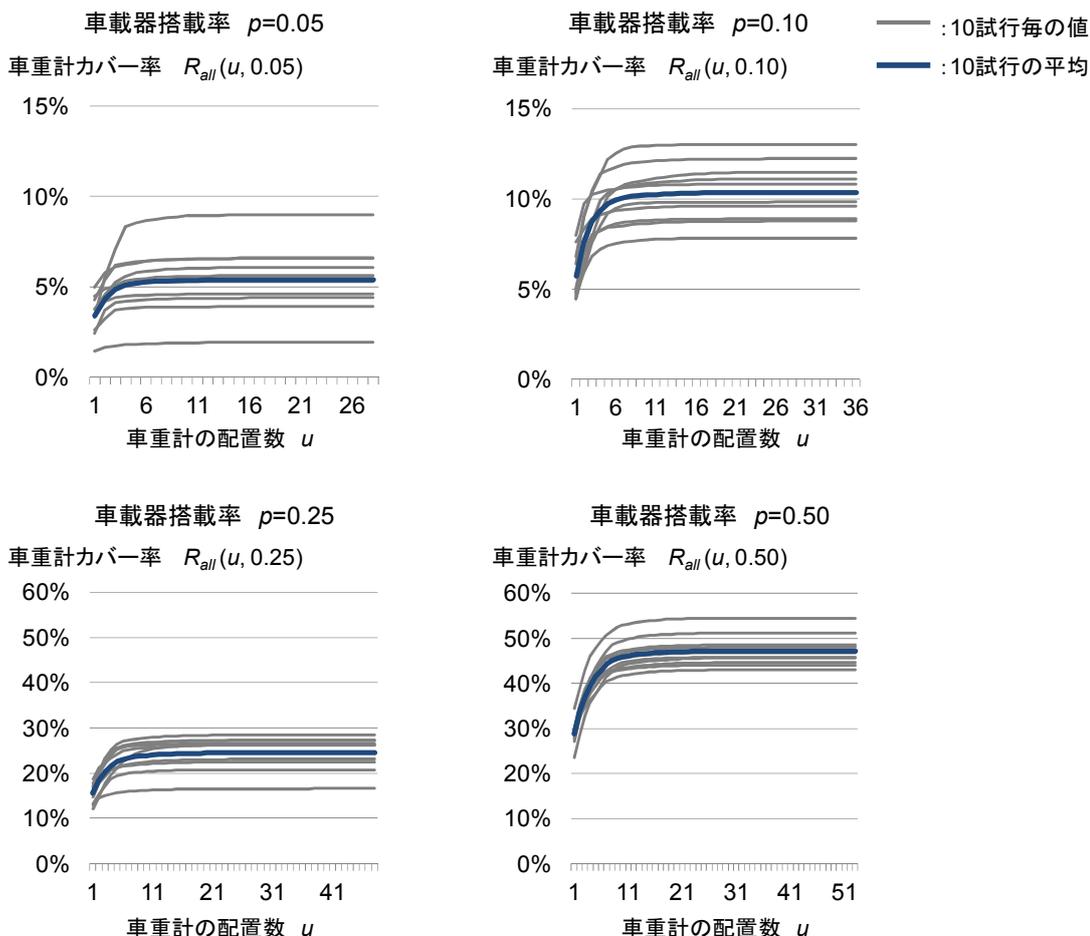


図 4-34 車重計の配置数と車重計カバー率（全区間）

図 4-16 に示した車載器搭載率  $p = 1.00$  のケースと比べると、より少ない車重計で車重計カバー率は頭打ちになっている。例えば車載器搭載率  $p = 0.05$  のケースでは、車重計を 7 箇所以上配置しても車重計カバー率は 5.3% からほとんど増加していない。これは、車重計での捕捉対象の車両数（トリップ数）が少なく、少ない車重計で全てを捕捉できるためである。例えば、車載器搭載率  $p = 0.05$  のケースでは、分析対象車両 16,387 台のうち「位置情報を把握できる 819 台」のみが車重計での捕捉対象となる（残りの 15,568 台は位置情報を把握できないことを想定しているため、そもそも車重計での捕捉対象とされない）。これに対し、車載器搭載率  $p = 1.00$  のケースでの捕捉対象は 16,387 台である（4.2.3 参照）。

橋梁区間についても同様に「車重計の配置数と車重計カバー率」を算定した。図 4-16 で示した車載器搭載率  $p = 1.00$  のケースの結果と合わせて図 4-35 に示す。

図 4-35 から、目標とする車重計カバー率を達成するために必要となる車重計の配置数を算定すると表 4-21 のとおりとなった。これにより、目標とする車重計カバー率の達成に必要な「車重計の配置数」を「車載器搭載率」の条件に応じて把握することができる。例えば、車重計カバー率<sub>全区間</sub> 20% を達成するには、「車載器搭載率」が 25% の場合は 3 箇所、50% の場合は 1 箇所に車重計を配置する必要があることがわかる。

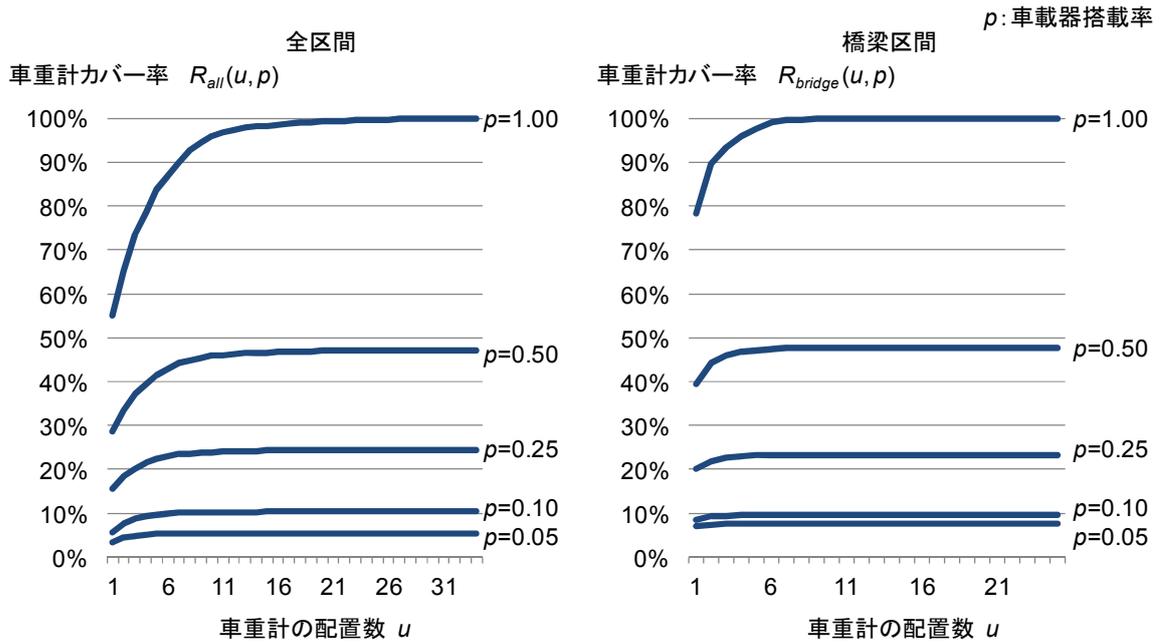


図 4-35 車重計の配置数と車重計カバー率（全区間、橋梁区間）

表 4-21 所要の車重計カバー率を達成するために必要な車重計の配置数 (u)

車重計カバー率 $R_{all}(u,p)$	全区間					車重計カバー率 $R_{bridge}(u,p)$	橋梁区間				
	車載器搭載率 (p)						車載器搭載率 (p)				
	0.05	0.10	0.25	0.50	1.00		0.05	0.10	0.25	0.50	1.00
5%	4	1	1	1	1	5%	1	1	1	1	1
10%	-	7	1	1	1	10%	-	-	1	1	1
15%	-	-	1	1	1	15%	-	-	1	1	1
20%	-	-	3	1	1	20%	-	-	2	1	1
25%	-	-	-	1	1	25%	-	-	-	1	1
30%	-	-	-	2	1	30%	-	-	-	1	1
35%	-	-	-	3	1	35%	-	-	-	1	1
40%	-	-	-	5	1	40%	-	-	-	2	1
45%	-	-	-	8	1	45%	-	-	-	3	1
50%	-	-	-	-	1	50%	-	-	-	-	1
55%	-	-	-	-	1	55%	-	-	-	-	1
60%	-	-	-	-	2	60%	-	-	-	-	1
65%	-	-	-	-	2	65%	-	-	-	-	1
70%	-	-	-	-	3	70%	-	-	-	-	1
75%	-	-	-	-	4	75%	-	-	-	-	1
80%	-	-	-	-	5	80%	-	-	-	-	2
85%	-	-	-	-	6	85%	-	-	-	-	2
90%	-	-	-	-	8	90%	-	-	-	-	3
95%	-	-	-	-	10	95%	-	-	-	-	4
100%	-	-	-	-	34	100%	-	-	-	-	25

## 4.7.7 本節での分析方法の有効性

本項では、本節で用いた分析方法の有効性を確認する。本節では車載器搭載率が100%未満 ( $p < 1.00$ ) における「車重計の配置数と車重計カバー率との関係」を求めることを目的に、「走行距離帯毎の車載器搭載率の差を反映したトリップ OD データセット」を4ケース ( $p = 0.50, 0.10, 0.25$  及び  $0.50$ )  $\times 10$  試行の40セット作成し、それぞれにおいて車重計の配置箇所の選定を行った。ところがもし、4.5.4 で示した「車載器搭載率  $p = 1.00$  のケースでの配置順序」で車重計を配置した場合でも、図 4-35 に示したものと同等程度の車重計カバー率を達成できるのであれば、わざわざ本節の方法を用いる必要がないことになる。つまり、車載器搭載率  $p = 1.00$  の1ケースのみで配置順序を選定するだけで済むことになる。

そこで本項では、次式で算定する「車重計カバー率の低下度合いを表す指標（全区間： $E_{all}(u, p)$ 、橋梁区間： $E_{bridge}(u, p)$ ）」を用いて両者の差を明らかにすることにより、本節で示した方法を用いて配置箇所の選定を行うことの効果を確認する。この指標の値が大きいほど、「車重計カバー率の低下度合い」が大きく、本節の方法を用いることの必要性が大きいことを意味する。

$$E_{all}(u, p) = \frac{R_{all}(u, p) - \bar{R}_{all}(u, p)}{R_{all}(u, p)} \quad (4-28)$$

$$E_{bridge}(u, p) = \frac{R_{bridge}(u, p) - \bar{R}_{bridge}(u, p)}{R_{bridge}(u, p)} \quad (4-29)$$

$$\text{s.t. } u \geq 1$$

$$p \in \{0.05, 0.10, 0.25, 0.50\}$$

ここで  $R_{all}(u, p)$  及び  $R_{bridge}(u, p)$  は、道路ネットワーク上に配置する車重計の数を  $u$ 、車載器搭載率を  $p$  とする場合の「車重計カバー率<sub>全区間</sub>」及び「車重計カバー率<sub>橋梁区間</sub>」である。これらは図 4-35 に示した値である。つまり「走行距離帯毎の車載器搭載率の差を反映したトリップ OD データセット」を作成した上で配置箇所の選定を行った場合の車重計カバー率である。 $\bar{R}_{all}(u, p)$  及び  $\bar{R}_{bridge}(u, p)$  は、4.5.4 で示した車載器搭載率  $p = 1.00$  のケースでの順序に従って車重計を配置する場合の「車重計カバー率<sub>全区間</sub>」及び「車重計カバー率<sub>橋梁区間</sub>」である。

算定結果を図 4-36 に示す。グレー線 (—) は、図 4-34 で示した10試行それぞれについて  $E_{all}(u, p)$  を算定したものである。赤線 (—) は、10試行での算定値を平均したものである。

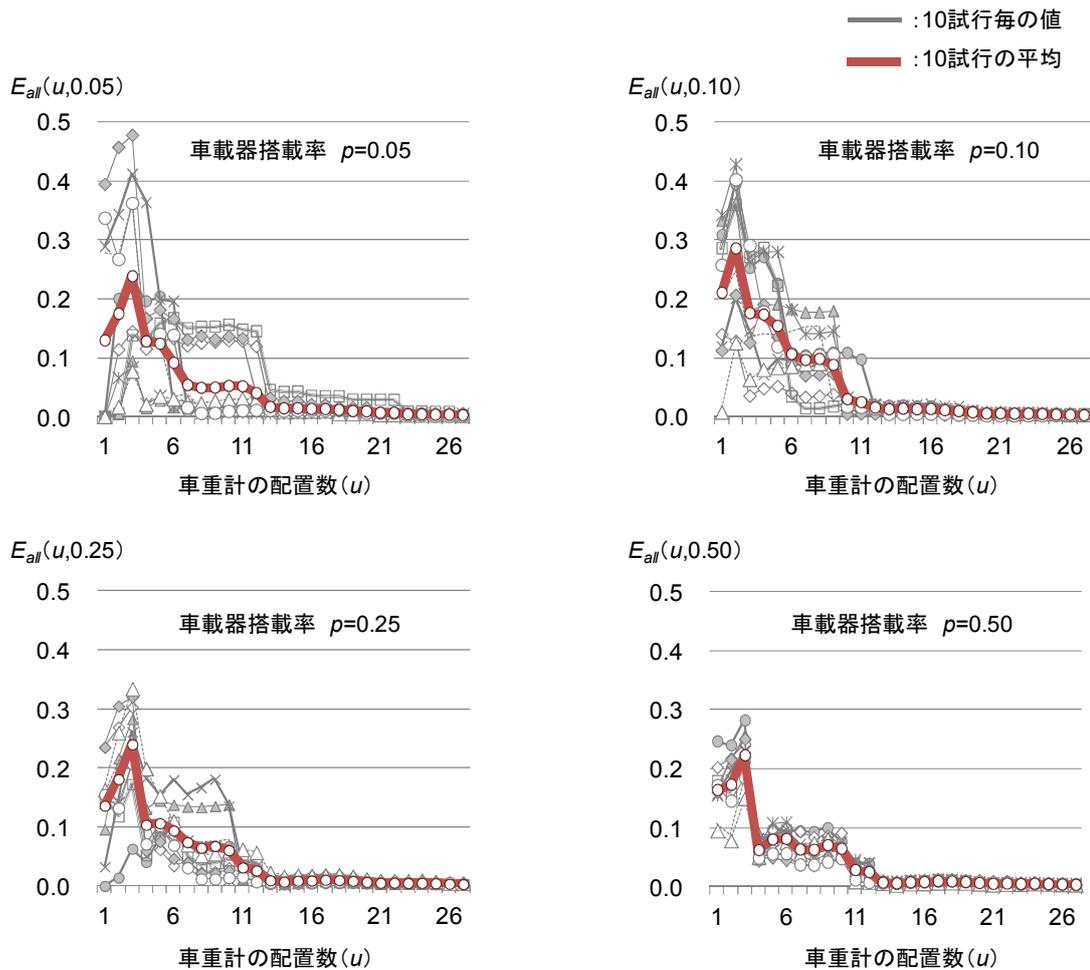


図 4-36 車載器搭載率  $p=1.00$  時の順序で配置する場合の車重計カバー率の低下

車重計の配置数が少ないと指標の値が大きい。指標の値が 0.1 を超える配置数は次のとおりとなった。

車載器搭載率  $p = 0.05$  : 1~5 箇所

車載器搭載率  $p = 0.10$  : 1~6 箇所

車載器搭載率  $p = 0.25$  : 1~5 箇所

車載器搭載率  $p = 0.50$  : 1~3 箇所

配置数が概ね 15 を超えると指標の値はほぼ 0 となる。つまり、車載器搭載率  $p = 1.00$  のケースでの順序で車重計を配置しても、収集できる交通荷重情報の量はほとんど変わらない。

このことより次の知見が得られた：検討対象エリアにおいて 1~3 箇所程度の車重計の配置箇所を選定しようとする場合、本節での方法（「走行距離帯毎の車載器搭載率の差を反映したトリップ OD データセット」を作成した上で配置箇所の選定を行う方法）を用いず、簡易的に「車載器搭載率  $p=1.00$  のケースでの配置箇所」を援用すると、車重計カバー率が 1 割以上低下する。つまり、収集できる交通荷重情報が 1 割以上低下する。

以上より、本節では車重計カバー率を達成するために必要な「車重計の配置数」を「車

載器搭載率」に応じて把握する方法を提案するとともに、特に少数の車重計を配置する場合においてこの方法が有効であることを示した。

## 4.8 小括

### 4.8.1 研究成果

施設配置を扱う研究において、この基礎データとなる「捕捉対象の流動」を正確に推計することは重要な事項であると考え、これを特徴的に扱った研究はほとんど見られない。そこで本章では、経路選択特性を考慮して推計を行った走行経路を対象に車重計の配置方法を検討した。さらに、多くの既往研究では車両の移動経路を OD ペア毎に 1 経路のみ設定していることに対し、本章では容量制約付きの 5 段階の分割配分法を用いることで、OD ペア毎に最大 5 経路設定した。この際、大型貨物車以外の車両も道路ネットワーク上で同時に扱い、これらによるリンクの速度低下も考慮した。このように本章では、既往研究でほとんど着目されてこなかった「捕捉対象の流動特性」を明示的に扱った。これは、今後の最適配置の研究における基礎データ（捕捉対象の流動）の位置づけや基礎データの設定方法に示唆を与える意義のある手法であると考え。

以下、1.2 で示した「I.基礎データ収集装置の配置」に関して設定した**研究目的 1-1**、**1-2** 及び **1-3** について行った分析の概要と得られた知見を示す。

#### 車重計の配置箇所の選定方法（研究目的 1-1）

「配置方法の効率性の評価」を行う指標として車重計カバー率を定義するとともに、以下に示す 3 種類の「車重計の配置方法」を示した。

配置方法Ⅰ：「交通量」の多い箇所から順次配置。

配置方法Ⅱ：個々の車両の走行経路を推計し、捕捉できる車両の「走行距離の和」を最大にするように順次配置。

配置方法Ⅲ：推計された走行経路に「車両重量」の情報を付加することにより、捕捉できる車両の「走行トンキロ（走行距離×換算重量）の和」を最大にするように順次配置。

各方法で配置箇所の選定を行い「車重計の配置数」と「車重計カバー率」との関係进行分析した結果、車重計の配置方法に関して次の知見を得た。

- ・車重計を 1 つだけ配置する箇所を選定する場合、配置方法Ⅰ～Ⅲに差はない。
- ・車重計カバー率<sub>全区間</sub> 90%を達成することを目指す場合、配置方法Ⅰを基準にして、配置方法Ⅱでは 2.07 倍、配置方法Ⅲでは 4.14 倍だけ多くの交通荷重情報を収集できる箇所を選定することができる。
- ・配置箇所の選定時に「走行経路情報」を用いることにより、「既存の車重計を通過していない車両を新規に捕捉できる割合」が 5 倍程度大きくなる（配置数 10 箇所未満）。

以上より、1箇所的車重計を配置する場合は、交通量のみを調査し、これに基づき箇所選定を行うことができるものの、複数箇所に車重計を配置して90%程度の車重計カバー率を達成しようとする、個々の車両の走行経路上の交通荷重を推計し、これに基づき箇所選定を行うことが望ましいことを示した。これは、必要となる調査事項も含め、実務者が車重計の配置箇所を選定する際の有用な知見であると考えられる。

#### 逐次決定と同時決定の比較（研究目的 1-2）

逐次決定と同時決定を用いて「検討対象エリアにおける車重計の配置箇所の選定（2～6箇所）」を行った。この結果、逐次決定でも同時決定と同等の車重計カバー率を得ることができることを確認した。これは、道路ネットワークやODの状況が変化しないという条件下でも、逐次決定を用いて車重計の配置箇所を決定することができることを示唆しており、実作業での計算手法に関する有益な知見を提供することができたと考えられる。

#### 所要の車重計カバー率の達成に必要な車重計の配置数の把握方法（研究目的 1-3）

検討対象エリアにおける車載器搭載率を考慮して「車重計の配置数と車重計カバー率との関係を求める方法」を構築するとともに、特に少数の車重計を配置する場合にこの方法が有効であることを示した。これにより、検討対象エリアにおける車載器搭載率に応じて「目標とする車重計カバー率」を達成するために必要な「車重計の配置数」を把握することを可能にした。

このため本章では「車重計の必要配置数」という実務上最も基本的な事項の検討を支援する有効な方法を構築したと考える。

### 4.8.2 今後の課題

以下に、本章で扱った「車重計の配置方法」について残された課題を述べる。

#### 必要な車重計の配置数の把握方法

本章では千葉県南部地域を検討対象エリアとして、「車載器搭載率」及び「車重計の配置数」と「車重計カバー率」との関係を明らかにする方法を構築した。これにより、検討対象エリアにおいて目標とする車重計カバー率を達成するために必要となる車重計の数を車載器搭載率に応じて算定することを可能にした。当然のことながら、ネットワークの構造や物流拠点等の施設配置によって上記の関係は異なるため、検討対象エリア毎に、本章で示した方法により関係分析を行う必要がある。これへの対応として、複数の地域において上記の分析を行うことにより、ある程度汎用性のある関係式を構築することが望ましいと考えるが、本研究では1つのエリアを対象とした分析にとどまった。

今後、異なる検討対象エリアを対象にして同様の分析を行うことにより、道路ネットワークの構造や密度、検討対象エリアの面積、ODの偏りなどから、車重計カバー率の目標値クリアに必要な配置数の目安を推計するツールを構築することが望ましい。

### 複数のエリアを対象とした配置箇所の選定方法

本章では、年に1箇所ずつ車重計を追加的に配置していく「逐次決定」による配置問題を扱った。これは、本稿での検討対象エリアのみで1.2に示した交通荷重把握の施策を実施することを想定したものである（図4-37左）。

しかし、他のエリアにおいても同時期にこの施策を実施することを考える場合には、複数のエリアを走行する車両の車重計通過の有無を考慮した「同時決定」の配置問題を考える必要がある（図4-37右）。今後、大型貨物車のトリップ長の特性などから同時決定の問題として扱うべきエリアの範囲の考え方を整理し、複数のエリアを対象とした車重計の配置箇所の選定方法についても研究を行うことが望ましい。



図 4-37 施策実施対象エリアのイメージ

### 走行距離帯毎の車載器搭載率の算定方法

4.7.3では「ETC2.0車載器」でなく「ETC車載器」の搭載有無の情報を用いて「走行距離帯毎の車載器搭載率」を設定した。これは、走行距離帯毎の「ETC2.0車載器の搭載率」を示す情報が現時点では得られていないためである。

今後、大型貨物車の「ETC2.0サービス対応車載器搭載の有無」、「商用車運行管理サービス利用の有無」、「平均的な走行距離や配送地域」等の情報を収集し、走行距離と車載器搭載率との関係を求め、これに基づき「走行距離帯毎の車載器搭載率」を新たに設定する必要がある。

## 変数リスト

$u$	検討対象エリアに配置する車重計の総数
$p$	検討対象エリアにおける車載器搭載率 ( $0 < p \leq 1.00$ )
$W_i^{rs}$	OD ペア $rs$ ( $\in \Omega$ ) 間の車両 $i$ ( $\in I$ ) の総重量
$l_a$	リンク $a$ ( $\in L^{rs,m}$ ) の延長 (km)、
$\delta_i^{rs,m}$	車両 $i$ が OD ペア $rs$ 間の経路 $m$ ( $\in M$ ) を走行する場合を 1 とするダミー変数
$\delta_a^B$	リンク $a$ が橋梁リンクである場合を 1 とするダミー変数
$\delta^{rs,m}(u)$	検討対象エリアに配置する車重計の総数を $u$ とするときに OD ペア $rs$ 間の経路 $m$ に車重計が 1 つ以上配置される場合を 1 とするダミー変数
$\delta_i(p)$	車載器搭載率が $p$ のときに車両 $i$ が車載器を搭載している場合を 1 とするダミー変数
$\delta_i^a$	車両 $i$ がリンク $a$ を通過する場合を 1 とするダミー変数
$\delta^a(u)$	検討対象エリアに配置する車重計の総数を $u$ とするときにリンク $a$ に車重計が配置される場合を 1 とするダミー変数
$R_{all}(u, p)$	検討対象エリアに配置する車重計の数を $u$ 、車載器搭載率を $p$ とする場合の重計カバー率 <sub>全区間</sub>
$R_{bridge}(u, p)$	上記の場合の車重計カバー率 <sub>橋梁区間</sub>
$L$	検討対象エリア内にあるリンクの集合
$L^{rs,m}$	OD ペア $rs$ の経路 $m$ のうち検討対象エリア内にあるリンクの集合
$I$	車両 $i$ の集合
$\Omega$	OD ペア $rs$ の集合
$M$	OD ペア $rs$ 間の経路 $m$ の集合

## 第5章 重量データと位置データとを関連付けて交通荷重情報を収集する方法の有効性の検証

### 5.1 本章の目的と構成

本章は 1.2 において「Ⅱ. 基礎データの関連付け」について設定した「研究目的 2：重量データと位置データとを関連付けて交通荷重情報を収集する方法の有効性を検証する」ことを目的とする。

まず 5.2 では重量データと位置データとを関連付けて交通荷重情報を収集する方法を示す。5.3 では、この方法を用いて累積交通荷重を算定する手順を示す。最後に 5.4 では、4 章で推計した「検討対象エリアにおける全ての大型貨物車の走行経路と交通荷重」を用いて、本研究で提案する方法、つまり重量データと位置データとを関連付けて交通荷重情報を収集する方法の有効性を示す。

### 5.2 重量データと位置データとを関連付けて交通荷重情報を収集する方法

本節では、個々の車両の重量データと位置データとを関連付けて、2.4.4 で提案した方法で特定する「同一重量区間」毎に交通荷重情報を収集する方法を示す。重量データと位置データとを関連付けるには、共通の車両 ID を両データに付加する必要がある。このため、車重計の設置箇所には ITS スポットと自動ナンバープレート読取装置<sup>183)</sup>を併設して通過車両の特定を行う。ETC2.0 サービス対応車載器を備えた車両については、ITS スポットで把握する車両 ID を重量データに付加する。商用車運行管理サービスを利用する車両については、自動ナンバープレート読取装置で把握する車両 ID を重量データに付加する。この車両 ID と車重計の通過時刻に基づき、重量データと位置データとの関連付けを行う。

図 5-1 に示す輸送経路を例に、重量データと位置データとを関連付けて交通荷重を把握する方法を示す。ここでは、自社—地点 2 の間に車重計が配置されているとする。まず、位置データから、個々の車両が一定の期間（1 週間、1 ヶ月等）に走行した区間と時刻を特定する。これらの区間のうち、荷物の積込みや荷降ろし等の車両重量が変化する事象が発生した位置と時刻に関する情報（2.4.4）に基づき、同一重量区間を特定する。

図 5-1 の例での同一重量区間は次の 7 区間となる。

4 月 1 日「自社→地点 1」、「地点 1→地点 2」、「地点 2→自社」

4 月 2 日「自社→地点 1」、「地点 1→自社」

4 月 3 日「自社→地点 2→地点 1」、「地点 1→自社」

次に、車両 ID 及び車重計の通過時刻に基づき、車重計での計測重量データを位置データに付加する。これにより、図 5-2 に示すとおり、4 月 1 日の「地点 2→自社」、4 月

3日の「自社→地点2→地点1」の2つの同一重量区間では交通荷重を把握することが可能になる（残りの5区間では交通荷重を把握することができない）。

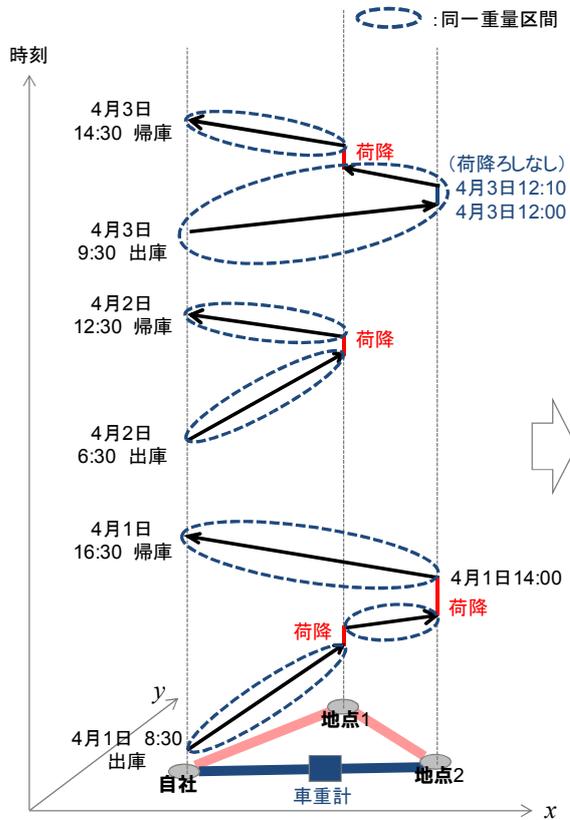


図 5-1 同一重量区間の特定

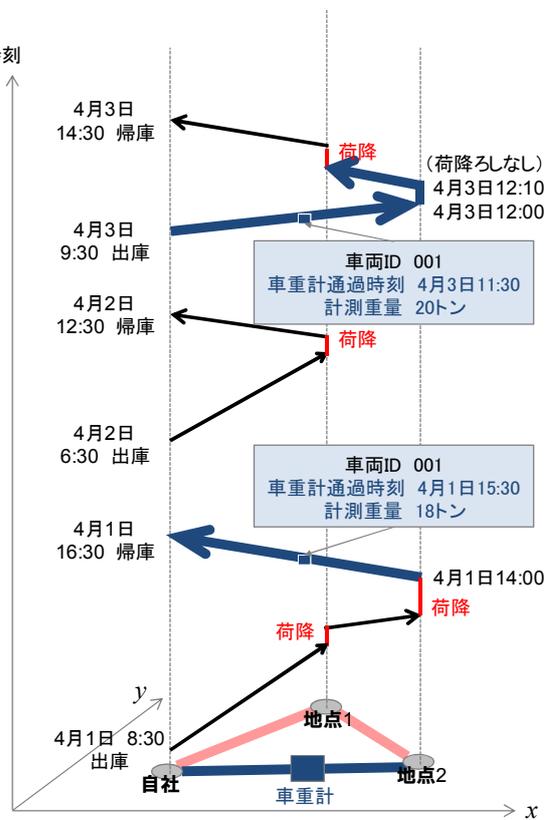


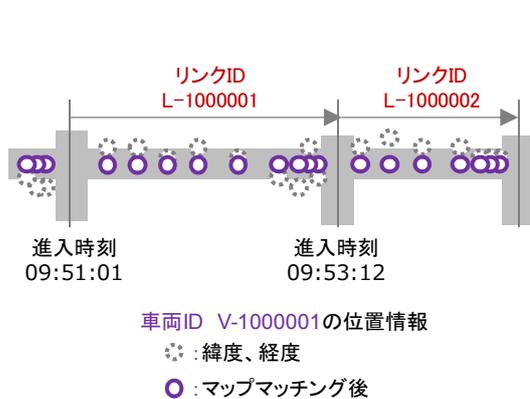
図 5-2 計測重量データの付加

### 5.3 累積交通荷重の算定手順

前節では、重量データと位置データとを関連付けて同一重量区間における交通荷重を把握する方法を示した。本節では、この方法を用いて累積交通荷重をリンク単位で算定する手順を示す。説明をわかりやすくするため、関連付ける前の重量データと位置データの段階から、構造物単位の交通荷重のデータベースを作成する一連の流れを示すこととする。

#### 位置データ

図 5-3 に示すように、各車両の位置データ（緯度・経度情報）を、デジタル道路地図（DRM）の道路ネットワークデータにマップマッチングさせ、「走行リンク ID」及び「リンク進入時刻」を特定する。そして図 5-4 に示すように、「同一重量区間 ID」を加えた「(A) 位置データベース」を車両毎に作成する。



車両ID V-1000001		
リンクID	リンク進入時刻	同一重量区間ID
L-1000001	11月01日09:51:01	00001
L-1000002	11月01日09:53:12	00001
⋮	⋮	⋮
L-1000821	11月01日10:55:03	00001
—	11月01日10:57:00	荷降ろし
L-1000XXX	11月01日11:25:09	00002
L-1000XXX	11月01日11:28:12	00002
⋮	⋮	⋮

図 5-4 (A) 位置データベース (車両毎)

#### 重量データ

図 5-5 に示すように、車重計が配置されたリンクでは、「計測重量データ (総重量及び軸重量)」「車両 ID」及び「車重計通過時刻」を収録した「(B) 重量データベース」を車重計毎に作成する。

リンクID(車重計設置リンク) L <sup>*</sup> -1000002							
車両ID	車重計通過時刻	総重量トン	軸重トン				
V-1000001	11月01日09:53:15	43.7	7.1	11.4	9.2	7.8	8.2
V-#####	11月01日09:53:16	27.4	6.8	10.0	4.6	3.2	2.8
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

図 5-5 (B) 重量データベース (車重計毎)

#### 交通荷重データ

「車両 ID」「リンク ID」及び「リンク進入時刻 (車重計通過時刻)」に基づき、(A) 位置データベースと (B) 重量データベースとを関連付け、同一重量区間における計測重量データを付加する。例えば図 5-6 の同一重量区間 ID が 00001 のリンク (L-1000001 から L-1000821) には、車重計設置リンク L<sup>\*</sup>-000002 における「計測重量データ：総重量

43.70 トン、軸重量 7.10 トン、11.4 トン、9.2 トン、7.8 トン及び 8.2 トン」を付加する。同一重量区間 ID00002 (L-1000821 を通過し、荷降ろしした後の区間) において車重計を通過していない場合、重量を「不明」として整理する (図 5-6 中段)。

これより、4 乗則及び 12 乗則 (2.2.2 参照) で算定した換算重量を収録した「交通荷重データベース」をリンク毎に作成する (図 5-6 下段)。

これにより、道路ネットワーク上の任意の期間における累積交通荷重をリンク単位で把握することが可能になる。

(A) 位置データベース (車両毎)

車両ID V-1000001		
リンクID	リンク進入時刻	同一重量区間ID
L-1000001	11月01日09:51:01	00001
L-1000002	11月01日09:53:12	00001
⋮	⋮	⋮
L-1000821	11月01日10:55:03	00001
—	11月01日10:57:00	荷降ろし
L-1000XXX	11月01日11:25:09	00002
L-1000XXX	11月01日11:28:12	00002
⋮	⋮	⋮

(B) 重量データベース (車重計毎)

リンクID(車重計設置リンク) L-1000002							
車両ID	車重計通過時刻	総重量トン	軸重トン				
V-1000001	11月01日09:53:15	43.7	7.1	11.4	9.2	7.8	8.2
V-#####	11月01日09:53:16	27.4	6.8	10.0	4.6	3.2	2.8
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

車両ID V-1000001								
リンクID	リンク進入時刻	同一重量区間ID	総重量トン	軸重トン				
L-1000001	11月01日09:51:01	00001	43.7	7.1	11.4	9.2	7.8	8.2
L-1000002	11月01日09:53:12	00001	43.7	7.1	11.4	9.2	7.8	8.2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
L-1000821	11月01日10:55:03	00001	43.7	7.1	11.4	9.2	7.8	8.2
—	11月01日10:57:00	荷降ろし						
L-1000XXX	11月01日11:25:09	00002	不明	不明	不明	不明	不明	不明
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

リンクID L-1000821													
車両ID	リンク進入時刻	総重量トン		軸重トン									
		計測値	換算値	計測値				換算値					
V-1000001	11月01日10:55:03	43.7	455.9	7.1	11.4	9.2	7.8	8.2	2.5	16.9	7.2	3.7	4.5
V-#####	11月01日09:53:16	27.4	70.5	6.8	10.0	4.6	3.2	2.8	2.1	10.0	0.4	0.1	0.1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

図 5-6 交通荷重データベース (リンク毎)

## 5.4 有効性の検証（研究目的2）

### 5.4.1 本節の目的と構成

本節は、前節に示した「重量データと位置データとを関連付けて交通荷重情報を収集する方法（以下「関連付けあり」という。）」と、既往研究（2.5.1 参照）が扱う「両データを関連付けず、構造物毎に計測装置を設置して交通荷重情報を収集する方法（以下「関連付けなし」という。）」とで得ることができる車重計カバー率を比較し、本稿で提案する方法の有効性を示すことを目的とする。

まず 5.4.2 では「重量データと位置データとを関連付けて交通荷重情報を収集することの効果の評価する方法」を示す。5.4.3 では、この評価方法を用いて本研究で提案する方法の有効性を示す。なお、本節での分析には車載器搭載率 100%未満のケースを扱う必要がないことから、4章で得られた知見に基づき「車載器搭載率 100%のケースでの配置方法 III（逐次決定）」を用いて「関連付けあり」と「関連付けなし」の比較を行う（図 5-7）。

	逐次決定	同時決定
車載器 搭載率 100%	配置方法 I	配置方法 I
	配置方法 II	配置方法 II
	配置方法 III	配置方法 III
車載器 搭載率 100%未満	配置方法 I	配置方法 I
	配置方法 II	配置方法 II
	配置方法 III	配置方法 III

図 5-7 分析に用いる配置方法

### 5.4.2 検証方法

本項では、重量データと位置データとを関連付けることの効果の評価する方法を構築する。これには、検討対象エリアにおいて「関連付けあり」と「関連付けなし」で得ることができる車重計カバー率を比較し、関連付けることによる交通荷重情報収集の効率性の向上効果の評価することとする。「関連付けあり」については 4.5 での「車重計の配置数と車重計カバー率との関係」の分析結果を用いる。一方、「関連付けなし」では位置データを用いないことから、「関連付けあり」とは異なる車重計カバー率や配置方法を設定する必要がある。そこで 5.4.2.1 及び 5.4.2.2 で車重計カバー率及び配置箇所の選定方法を新たに定義する。5.4.2.3 では「関連付けあり」と「関連付けなし」の車重計カバー率の算定イメージを示す。

#### 5.4.2.1 「関連付けなし」での車重計カバー率

「関連付けあり」での車重計カバー率は式(4-16)及び式(4-17)により算定した。この式は、車両  $i$  が OD ペア  $rs$  の経路  $m$  を走行し ( $\delta_i^{rs,m} = 1$ )、この経路上に車重計が配置され ( $\delta^{rs,m}(u) = 1$ )、かつ車載器を搭載している場合 ( $\delta_i(p) = 1$ ) に、経路上の「全てのリンク」の交通荷重情報を収集できることを表す。

これに対し「関連付けなし」では、車載器搭載の有無に拘わらず「車重計を配置するリンクのみ」で交通荷重情報を収集できることを想定している。このため、車重計カバー率を次式のとおり新たに定義する。

$$\text{全区間} \quad R_{all}(u) = \frac{\sum_{i \in I} \sum_{rs \in \Omega} \sum_{m \in M} \sum_{a \in L} (W_i^{rs})^4 \times l_a \times \delta_i^a \times \delta^a(u)}{\sum_{i \in I} \sum_{rs \in \Omega} \sum_{m \in M} \sum_{a \in L} (W_i^{rs})^4 \times l_a} \quad (5-1)$$

$$\text{橋梁区間} \quad R_{bridge}(u) = \frac{\sum_{i \in I} \sum_{rs \in \Omega} \sum_{m \in M} \sum_{a \in L} (W_i^{rs})^{12} \times \delta_a^B \times \delta_i^a \times \delta^a(u)}{\sum_{i \in I} \sum_{rs \in \Omega} \sum_{m \in M} \sum_{a \in L} (W_i^{rs})^{12} \times \delta_a^B} \quad (5-2)$$

ここで  $R_{all}(u)$  及び  $R_{bridge}(u)$  は車重計カバー率<sub>全区間</sub>及び車重計カバー率<sub>橋梁区間</sub>で、「車載器搭載の有無」を考慮しないことから「検討対象エリアに配置する車重計の総数 ( $u$ )」のみの関数として表される。この式は、リンク  $a$  に車重計が配置され ( $\delta^a(u) = 1$ )、かつ車両  $i$  がこのリンクを走行している場合 ( $\delta_i^a = 1$ ) に、このリンクのみで交通荷重を把握できることを表している。

#### 5.4.2.2 「関連付けなし」での配置順序

4.5.3 に示したとおり「関連付けあり」では、「リンクを通過する車両のトリップ OD の起点から終点までの走行トンキロ (=走行距離×換算重量) の和」を最大にする箇所から順に配置することとしていた。これに対して「関連付けなし」では位置データを参照しないことから、個々のリンクにおける交通荷重の大きい箇所から順に配置していくことが有効である。このため、「関連付けなし」では「リンクの交通荷重」を次式で算定し、この値が大きいリンクから順に車重計を配置することとする。

$$\text{全区間} \quad \max. \sum_{i \in I} \sum_{rs \in \Omega} \sum_{m \in M} (W_i^{rs})^4 \times l_a \times \delta_i^a \times \delta^a(u) \quad (5-3)$$

$$\text{橋梁区間} \quad \max. \sum_{i \in I} \sum_{rs \in \Omega} \sum_{m \in M} (W_i^{rs})^{12} \times \delta_a^B \times \delta_i^a \times \delta^a(u) \quad (5-4)$$

#### 5.4.2.3 「関連付けあり」と「関連付けなし」の車重計カバー率の算定例

「関連付けあり」と「関連付けなし」の差は、交通荷重情報を収集できるリンクを「車重計が配置された経路上の全てのリンク」とするか「車重計が配置されたリンクのみ」とするかである。本項では、この違いを明確にすることを目的に

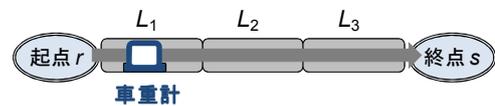


図 5-8 仮想的な交通状況

図 5-8 に示す仮想的な交通状況を用いて「関連付けあり」と「関連付けなし」の車重計カバー率の算定例を示す。OD ペア  $rs$  間の経路  $m$  上に  $L_1$ 、 $L_2$  及び  $L_3$  (ともに延長 1km) の 3 つの構造物 (リンク) があり、 $L_1$  に車重計が配置されているとする。この経路を車載器搭載ありの車両  $i$  ( $\delta_i(p) = 1$ ) 1 台 (換算重量 100 トン) のみが走行する場合の車重

計カバー率を比較する。この場合の交通荷重の総量は 300 トンキロ (=100 トン×1km×3) となる。

図 5-9 及び表 5-1 に示すとおり、「関連付けなし」では、車重計のある  $L_1$  においてのみ  $\delta^a(u)=1$  となり交通荷重情報 ( $W_i^{rs}$ ) を収集できる。一方「関連付けあり」では、OD ペア  $rs$  間の経路  $m$  上の全てのリンクにおいて  $\delta^{rs,m}(u)=1$  となり、車重計が配置されていない  $L_2$  及び  $L_3$  においても交通荷重情報を収集できる。このため、「関連付けあり」では車重計カバー率が 100%、「関連付けなし」では 33.3%となる。これは、重量データと位置データとを関連付けることにより、交通荷重情報を 3 倍効率的に収集できるようになることを示している。

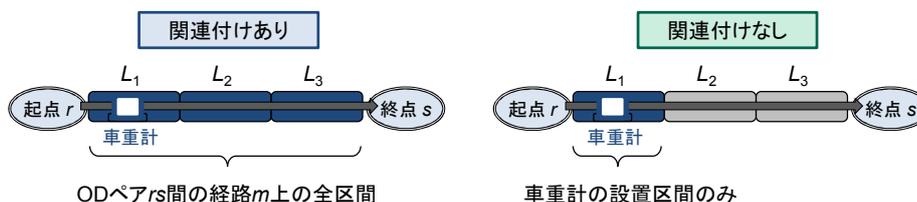


図 5-9 交通荷重情報の収集可能な区間

表 5-1 関連付けありなしの車重計カバー率の算定例

	関連付けあり			関連付けなし		
	$L_1$	$L_2$	$L_3$	$L_1$	$L_2$	$L_3$
$l_a$	1	1	1	$l_a$	1	1
$(W_i^{rs})^4$	100	100	100	$(W_i^{rs})^4$	100	100
$\delta_i^{rs,m}$	1	1	1	$\delta_i^a$	1	1
$\delta^{rs,m}(u)$	1	1	1	$\delta^a(u)$	1	0
$\delta_i(p)$	1	1	1			
$(W_i^{rs})^4 \times l_a \times \delta_i^{rs,m} \times \delta^{rs,m}(u) \times \delta_i(p)$	100	100	100	$(W_i^{rs})^4 \times l_a \times \delta_i^a \times \delta^a(u)$	100	0
$\Sigma(W_i^{rs})^4 \times l_a \times \delta_i^{rs,m} \times \delta^{rs,m}(u) \times \delta_i(p)$		300		$\Sigma(W_i^{rs})^4 \times l_a \times \delta_i^a \times \delta^a(u)$	100	
車重計カバー率		100%		車重計カバー率	33.3%	

### 5.4.3 有効性の検証

5.4.2 では、重量データと位置データとを関連付けて交通荷重情報を収集することによる効率性の向上効果の評価する方法を示し、仮想的な交通状況での算定例を示した。本項では、この評価方法を 4 章での検討対象エリアに適用し、実際の道路ネットワーク上で関連付けの効果の評価を行うことにより本研究で提案する方法の有効性を示す。5.4.2 で示した方法で「関連付けなし」での「車重計の配置数と車重計カバー率」を算定した。これを 4.5 に示した「関連付けあり」での結果と合わせて図 5-10 に示す。

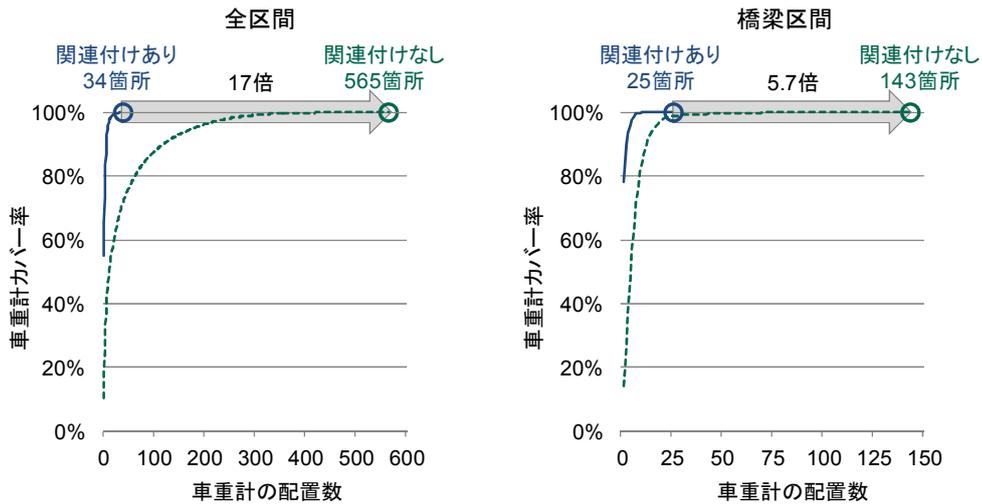


図 5-10 車重計カバー率 100%達成に必要な車重計の配置数

#### 5.4.3.1 「車重計カバー率 100%に必要な車重計の配置数」による比較

図 5-10 に示すとおり「関連付けなし」で検討対象エリアにおける全ての交通荷重情報を収集するには、大型貨物車が走行している全てのリンク（全区間：565、橋梁区間：143）に計測装置を設置する必要がある。これに対し「関連付けあり」では全区間では34箇所、橋梁区間では25箇所に車重計を配置するだけで済む。これは、「車重計カバー率 100%を達成するために必要な施設数」を基準に両者を比較すると、「関連付けあり」は「関連付けなし」に比べて、16.6 倍（ $= 565/34$ 、全区間）あるいは 5.72 倍（ $= 143/25$ 、橋梁区間）だけ効率的に交通荷重情報を収集できることを示している。

#### 5.4.3.2 1つの車重計による車重計カバー率による比較

車重計 1 つを配置する際の車重計カバー率を整理すると図 5-11 のとおりとなる。

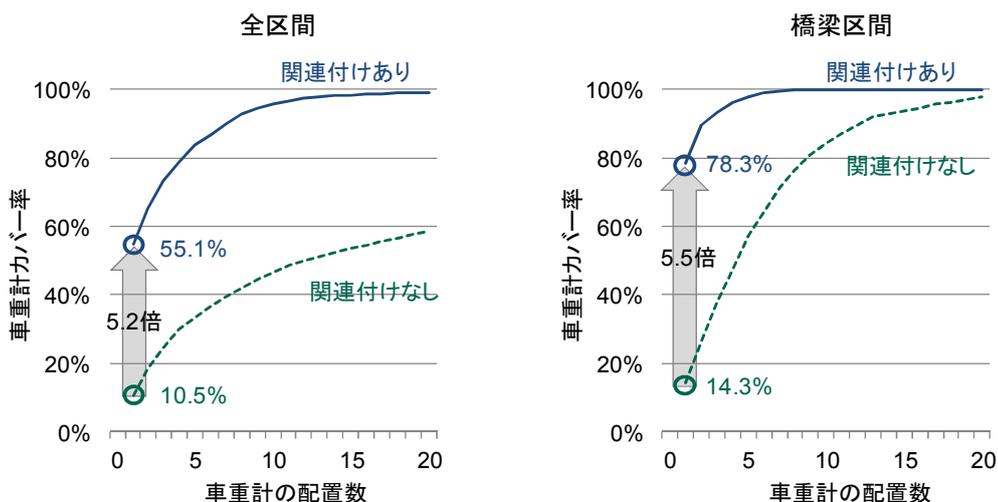


図 5-11 1つの車重計による車重計カバー率の比較

全区間では、「関連付けあり」の車重計カバー率（55.1%）は「関連付けなし」（10.5%）の 5.2 倍となった。橋梁区間では、「関連付けあり」の車重計カバー率（78.3%）は「関

連付けなし」(14.3%)の5.5倍となった。これは、車重計を1箇所配置する場合、重量データと位置データとを関連付けることにより、約5倍多くの交通荷重情報を収集することが可能になることを示している。

また、図5-12に示すように「関連付けあり」で車重計1つを配置する際の車重計カバー率(全区間:55.09%、橋梁区間78.27%)を、「関連付けなし」で達成しようとする、全区間では17箇所、橋梁区間では9箇所に車重計を配置しなければならない。これは、重量データと位置データとを関連付けることにより、17倍(全区間)または9倍(橋梁区間)交通荷重情報を効率的に収集することが可能になると考えることができる。

これらの箇所を図5-13に示す。多くの重量車両が京葉臨海工業地帯を発着していることから(図4-10参照)、「関連付けなし」での配置箇所は東京湾岸部に集中している。

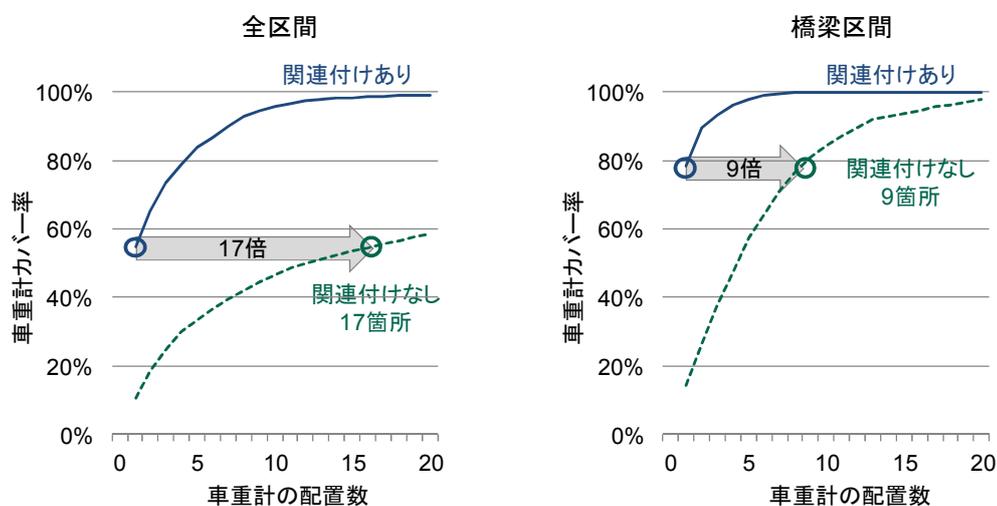


図 5-12 車重計カバー率の比較

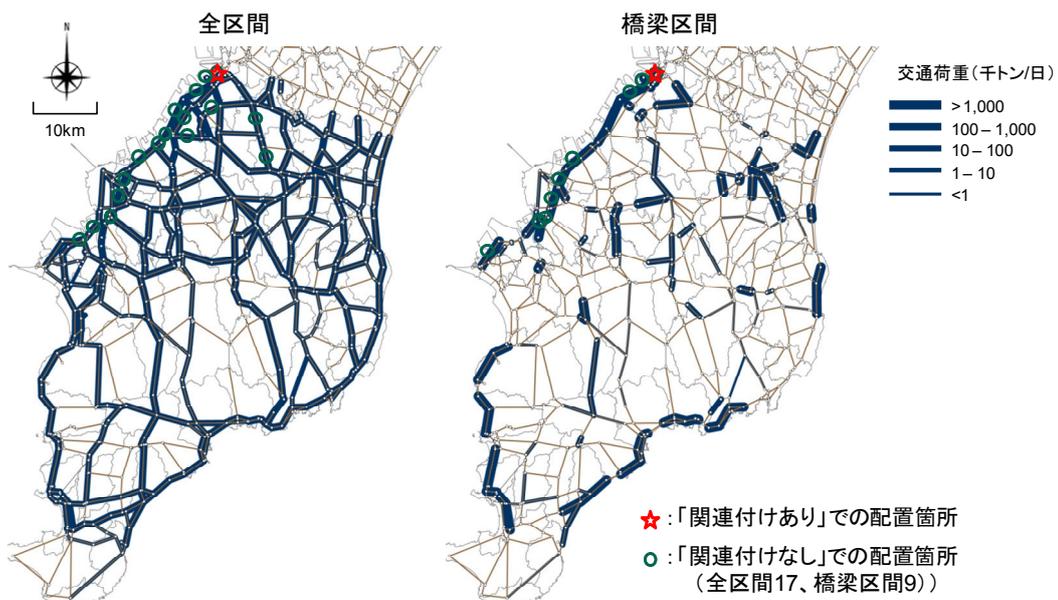


図 5-13 車重計の配置箇所

## 5.5 小括

### 5.5.1 研究成果

5.2 及び 5.3 では、重量データと位置データとを関連付けて交通荷重情報を収集する具体的な方法を示した。5.4 では関連付けを行うことの効果についての評価方法を構築した。さらにこの評価方法を検討対象エリアに適用し、両データを関連付けることの効果を評価した。これにより次のことを明らかにした。

- ・車重計を 1 箇所配置する場合、両データを関連付けることにより、収集可能な交通荷重情報の量が約 5 倍になる。
- ・「関連付けあり」で 1 つの車重計で得られる車重計カバー率を「関連付けなし」で達成するには、全区間では 17 箇所、橋梁区間では 9 箇所に車重計を配置しなければならない。

この成果は「既往研究の方法（構造物毎に計測装置を設置して交通荷重情報を収集する方法、2.5.1 参照）」に対する「本研究の提案方法」の有効性を示しており、今後の交通荷重情報収集を目的とする研究に示唆を与える意義があると考えられる。

さらに 5.4 では、「重量データと位置データとを関連付けて交通荷重を把握する施策」を実施することが有効かどうかの判断を支援する有益な方法を示すことができたと考えられる。例えば図 5-12 では「1 箇所のみ車重計を配置して、両データの関連付けを行うケース」と「9 箇所に車重計を配置して、両データの関連付けを行わないケース」との交通荷重情報の収集量は同等である。このため、それぞれの施策に必要な費用を比較することで、どちらのケースで交通荷重情報を収集すべきかを判断することができる。以上より、本章では施策検討を支援する有益な評価方法を構築したと考える。

### 5.5.2 今後の課題

#### 重量データと位置データとを関連付けることの効果を評価する指標

本章では「車重計カバー率」を評価指標として重量データと位置データとを関連付けることの効果を評価した。これは、「検討対象エリアにおける交通荷重の総量」のうち、より多くの交通荷重情報を収集するという観点で評価を行うものである。このため、表 5-2 に示す「関連付けあり（1 箇所のみ車重計を配置して、両データの関連付けを行うケース）」と「関連付けなし（2 箇所に車重計を配置して、両データの関連付けを行わないケース）」とを比較すると、「関連付けあり（車重計カバー率 60%）」の方が、「関連付けなし（車重計カバー率 40%）」より優れていると評価される。ところが「全ての交通荷重を把握できる構造物の数」を指標にすると「関連付けなし」の方が優れることになる（関連付けあり：1、関連付けなし：2）。

ある 1 つの構造物にかかる交通荷重の「全量」を推計しようとする、この構造物について一定割合以上の交通荷重情報を収集することが必要になる（例えば、全量の 1%

だけ交通荷重情報を収集できたとしても、これから全量を推計しようとする誤差が大きく推計が困難である)。このため今後、「全量の  $a$  %以上の交通荷重情報を収集できる構造物の数」といった個々の構造物に着目した指標を検討し、これらの指標を用いて効率性の評価や箇所選定を行う方法について研究を行うことが望ましい。

表 5-2 重量データと位置データとを関連付けることの効果を評価する指標

	関連付けあり		関連付けなし
指標		>	
車重計カバー率	60%		40%
全ての交通荷重を把握できる構造物の数	1	<	2

#### ETC2.0 などのプローブ経路情報を活用した効率性の評価

本章は 4 章と同様に、「検討対象エリアにおける道路交通の真値」として「経路選択モデルによる推計経路」を使用した。この推計経路の代わりに「ETC2.0 や商用車運行管理サービスなどから作成するプローブ経路」を用いることも考えられる。しかし「車両の重量が不明であること」と「拡大係数を設定することができない（1 台のプローブ経路が実交通で何台分の経路に相当するかを設定できない）」という課題があるため、本研究ではプローブ経路を使用しなかった（4.2.1 参照）。

今後、本章での「有効性の評価」や 4 章での「車重計の配置箇所選定」にプローブ経路を活用することができるよう、プローブ経路の「重量の設定方法」や「拡大係数の設定方法」などについて研究を行うことが望ましい。

## 第6章 総括

### 6.1 研究成果のまとめ

本研究は、これまで別々に管理されていた走行車両の「重量データ」と「位置データ」とを関連付けることで、道路構造物損傷の主要因である「大型貨物車の交通荷重」を把握する施策を提案した。そして、この施策を実務に展開する上で必要になる知見を得ることを目的に分析を行った。本研究は特に、配置方法に関する既往研究で重要視されていない「捕捉対象の流動特性」を明示的に扱ったことを特徴とする。以下、研究の内容と得られた知見（6.1.1）及び本研究の新規性（6.1.2）を示す。

#### 6.1.1 得られた知見

本項では 1.2 で設定した研究目的に対して行った研究の内容と得られた成果や知見を示し、これらによる今後の実務や研究への貢献を述べる。

#### 研究目的0 大型貨物車の経路選択特性を考慮した経路選択モデルを構築する。

3章では大型貨物車の経路選択特性を考慮した経路選択モデルを構築した。このモデルを構築することで、以下の学術的成果を収めたと考える。

#### 大型貨物車の経路選択に影響を与える事項

3.3 では道路の幅、車線数といった「単路部での走りやすさ」と「交差点での折進のしやすさ」が経路選択に与える影響が大きいことをヒアリング調査により明らかにした。さらに、道路情報便覧に掲載されている道路構造規格をリンク属性に含む道路ネットワークデータを作成し、上記の調査で把握したヒアリング経路をこのデータにあてはめることにより、「車線数の多い区間や幅員の大きい区間」、「折進条件のない大きな交差点」を走行する割合が高いことを定量的に示した。これは、国際海上コンテナ輸送に対応した道路整備や大型貨物車の適正経路への誘導施策など、今後の貨物車交通施策を検討する際の重要な知見であると考えられる。

#### 交差点の折進のしやすさを考慮することの効果

上記の結果をもとに、「車線数」及び「交差点の構造規格」を説明変数とする「経路選択モデル1（車線数+交差点）」を定式化し、ヒアリング経路の情報を用いてパラメータ推定を行った。さらに、このモデル1が特徴的に扱っている「交差点の構造規格」を考慮することの効果を示すため、車線数のみを説明変数とする「モデル0（車線数）」を推定し、ヒアリング経路及びプローブ経路との重複率を算定した。この結果、ヒアリング経路を基準にすると、モデル1（車線数+交差点）はモデル0（車線数）の1.81倍、プローブ経路を基準にする1.69倍だけ正確に走行区間を特定できることを示した。さらに、最小時間経路探索モデルとの比較も行うことにより、モデル1を用いると正しく推計で

きる走行区間長が1.25倍になることを確認した。これらにより、大型貨物車の経路選択モデルでは「車線数」及び「交差点の構造規格」を考慮することで、経路の推計精度が向上することを定量的に示した。これは、今後の大型貨物車の経路選択モデルの設計や交通流推計手法の研究などに示唆を与える意義のある成果であると考えられる。

#### 研究目的 1-1 交通量、経路及び重量を指標として複数の配置方法の効率性を評価し、車重計の適切な配置方法に関する知見を得る。

4.5 では「配置方法の効率性の評価」を行う指標として車重計カバー率を定義するとともに、以下に示す3種類の「車重計の配置方法」を示した。

配置方法Ⅰ：「交通量」の多い箇所から順次配置。

配置方法Ⅱ：個々の車両の走行経路を推計し、捕捉できる車両の「走行距離の和」を最大にするように順次配置。

配置方法Ⅲ：推計された走行経路に「車両重量」の情報を付加することにより、捕捉できる車両の「走行トンキロ（走行距離×換算重量）の和」を最大にするように順次配置。

各方法で配置箇所の選定を行い「車重計の配置数」と「車重計カバー率」との関係性を分析した結果、車重計の配置方法に関して次の知見を得た。

- ・ 車重計を1つだけ配置する箇所を選定する場合、配置方法Ⅰ～Ⅲに差はない。
- ・ 車重計カバー率<sub>全区間</sub>90%を達成することを目指す場合、配置方法Ⅰを基準にして、配置方法Ⅱでは2.07倍、配置方法Ⅲでは4.14倍だけ多くの交通荷重情報を収集できる箇所を選定することができる。
- ・ 配置箇所の選定時に「走行経路情報」を用いることにより、「既存の車重計を通過していない車両を新規に捕捉できる割合」が5倍程度大きくなる（配置数10箇所未満）。

以上より、1箇所に車重計を配置する場合は、交通量のみを調査し、これに基づき箇所選定を行うことができるものの、複数箇所に車重計を配置して90%程度の車重計カバー率を達成しようとする、個々の車両の走行経路上の交通荷重を推計し、これに基づき箇所選定を行うことが望ましいことを示した。これは、必要となる調査事項も含め、実務者が車重計の配置箇所を選定する際の有用な知見であると考えられる。

#### 研究目的 1-2 逐次決定と同時決定とで得られる交通荷重情報の量を比較し、逐次決定により箇所選定を行うことの妥当性を確認する。

4.6 では、逐次決定と同時決定を用いて「検討対象エリアにおける車重計の配置箇所の選定（2～6箇所）」を行った。この結果、逐次決定でも同時決定と同等の車重計カバー率を得ることができることを確認した。これは、道路ネットワークやODの状況が変

化しないという条件下でも、逐次決定を用いて車重計の配置箇所を決定することができることを示唆しており、実作業での計算手法に関する有益な知見を提供することができたと考える。

### 研究目的 1-3 車載器搭載率を考慮して、所要の交通荷重を把握するために必要となる車重計の配置数の把握方法を構築する。

4.7 では検討対象エリアにおける車載器搭載率を考慮して「車重計の配置数と車重計カバー率との関係を求める方法」を構築するとともに、特に少数の車重計を配置する場合にこの方法が有効であることを示した。これにより、検討対象エリアにおける車載器搭載率に応じて「目標とする車重計カバー率」を達成するために必要な「車重計の配置数」を把握することを可能にした。

さらにこの成果は、「車重計の必要な配置数」だけでなく、車載器購入費用の助成や車載器搭載車両の有料道路料金割引などの「車載器搭載率を向上させる施策」を組合せた施策検討にも活用することもできる。例えば、車重計カバー率の目標値を20%とする場合、本研究での検討対象エリアでは次の施策を合わせて実施すれば目標を達成できることがわかる（表 4-21 参照）。

- ・ 施策の組合せ1：「車重計を3箇所配置」及び「車載器搭載率を25%に向上」
- ・ 施策の組合せ2：「車重計を1箇所配置」及び「車載器搭載率を50%に向上」

以上より、本研究では施策検討を支援する有益なツールを構築したと考える。

また、4.7.2 において車載器搭載率を考慮した配置方法を検討するにあたり、道路交通センサ OD 調査のオーナーマスターデータから大型貨物車の「ETC 車載器搭載有無」及び「1日の走行距離」を把握し、長距離トリップを行う車両ほど「ETC 搭載率」が高いことを明らかにした。特に、1日に200km超の輸送を行っている車両のETC 搭載率（87.3%）は、50km未満（18.8%）の車両の4倍以上となっていることを示した。この成果は、今後車載器搭載率の向上を目的とする各種施策を検討する際の有益な基礎情報になると考える。

### 研究目的 2 重量データと位置データとを関連付けて交通荷重情報を収集する方法の有効性を検証する。

5章では「重量データと位置データとを関連付けて交通荷重情報を収集する具体的な方法」を示すとともに、「関連付けによる交通荷重情報収集の効率性の向上効果」を評価する方法を構築した。さらにこの評価方法を「4章での検討対象エリア」に適用することにより、次の知見を得た。

- ・ 車重計を1箇所配置する場合、両データを関連付けることにより収集できる交通荷重情報の量が約5倍になる。

- ・「関連付けあり」で1つの車重計で得られる車重計カバー率を「関連付けなし」で達成するには、全区間では17箇所、橋梁区間では9箇所に車重計を配置しなければならない。

この成果は「既往研究の方法（構造物毎に計測装置を設置して交通荷重情報を収集する方法、2.5.1参照）」に対する「本研究の提案方法」の有効性を示しており、今後の交通荷重情報収集を目的とする研究に示唆を与える意義があると考えられる。

### 6.1.2 本研究の新規性

#### 交通荷重情報の収集方法

本稿で扱った「交通荷重情報の収集方法」に関する研究は、過去にも多数行われている。例えば、「RC床版下面の開閉幅」「主げたのひずみ応答」「支点反力」など、車両が橋梁を走行する際の部材の応答を計測して間接的に交通荷重を推計する手法を扱うものなどがある（2.5.1参照）。しかし、これらの研究はいずれも「構造物単体」に着目し、それぞれの構造物における交通荷重の計測精度などの向上を目指すものである。これに対し本研究は「道路ネットワーク上の構造物全体」に着目し、最小の装置で交通荷重情報を効率的に収集する方法を扱った。つまり「交通荷重情報の収集」という目的に対して既往研究とは異なるアプローチをとった。ここに本研究の新規性があると考えられる。

#### 施設配置の検討方法

車重計の配置方法を扱うにあたり、捕捉対象の流動を正確に推計することは重要な事項であるにも拘わらず、これを明示的に扱った研究はほとんど見られない。これに対して本研究は、大型貨物車の経路選択特性を反映したモデル推定し、これを用いて推計する走行経路を対象に施設の配置方法を検討するなど、既往研究であまり重要視されていなかった「捕捉対象の流動特性」を特徴的に扱った。ここに本研究の新規性があると考えられる。また、これは今後の最適配置の研究における基礎データ（捕捉対象の流動）の位置づけや基礎データの設定方法に示唆を与える意義のある成果であると考えられる。

#### 経路選択モデル

これまでも大型貨物車の経路選択モデルの研究が行われている。兵藤ら<sup>184)</sup>は、東京都市圏物資流動調査での走行経路調査の結果をもとに、走行区間が「重さ指定道路か否か」または「高さ指定道路か否か」を説明変数とした経路選択モデルを構築している。しかしこれらの変数は「単路部での走りやすさ」に関するもので、モデルでは「交差点での折進のしやすさ」に関する事項が考慮されていない。萩野ら<sup>185)</sup>の研究では「交差点での折進のしやすさ」を説明変数とするモデルを扱っているものの、「特殊車両通行許可申請時の経路情報」に基づきモデルのパラメータを推定しており、この申請経路が実際の走行経路と異なる可能性があるという課題を自らが指摘している（2.5.2参照）。

これに対し本研究では、輸送事業者から「経路選択時に考慮する事項」を聞き取り、さらには「通常利用している経路」の道路構造を分析することにより、「車線数」や「折進のしやすい大きな交差点」といった道路構造規格が経路選択に影響を与えることを明らかにした。そしてこれらを説明変数とするモデルを定式化し、ヒアリングで把握した経路情報に基づきパラメータ推定を行った。つまり本研究は「道路構造規格、特に交差点での折進のしやすさを説明変数にすること」と「実際の走行経路からパラメータ推定を行うこと」の一方が欠けていた既往研究の課題を補う形で経路選択モデルを構築した。この点で本研究は新規性を有すると考える。

さらに、上記を含む大型貨物車の経路選択に関する研究では、配分計算時に普通車を考慮していない。これに対し本研究では、大型貨物車と普通車とで異なる経路選択モデルを用い、ネットワークへの配分時にこれらを同時に扱った。具体的には、容量制約付分割配分法（OD 交通量均等 5 分割）を用いて、まず普通車を最小時間経路に配分してリンク速度を更新。そして 3 章で構築した経路選択モデルを用いて大型貨物車を一般化費用最小経路に配分。これを 5 回繰り返して、それぞれの OD につき最大 5 つの走行経路を推計した（4.3.1 参照）。この手法を用いることによる得失については分析を行うことができなかったものの、普通車によるリンクの速度低下を考慮して大型貨物車の経路推計を行った点に新規性があると考ええる。

#### 一般道に着目した走行経路の推計方法

本研究で提案した交通荷重情報の収集方法は、道路ネットワークのうち一般道を対象とするものである。このため、一般道での走行経路をより精緻に推計するための工夫を凝らした。まず一般道のみを利用している大型貨物車の走行経路から経路選択モデルを構築した（3 章）。さらに 4.3 で行った経路の推計では、「各トリップの高速利用の有無」及び「乗り降りした高速道路のインターチェンジ（IC）名」を道路交通センサス OD 調査のオーナーマスターデータから把握することにより一般道利用区間（「起点－乗 IC」及び「降 IC－終点」）を特定した。そして、これら一般道利用区間のみを対象に経路選択モデルによる経路の推計を行った。これにより「通常では高速道路を利用することが現実的でないような場合でもロジット式に従って高速利用経路に交通量が配分される」という課題<sup>186)</sup>を回避し、より実態にあった経路の推計を可能にした。

以上のように、交通配分に関する既往研究<sup>187)188)</sup>の多くが高速道路のみ、または高速道路と一般道から成る道路ネットワーク全体における交通流を再現することを主目的としていることに対し、本研究は利用インターチェンジなどの情報を活用するなどして、一般道上の走行経路をより正確に把握することを目的とした推計手法を用いた。ここに本研究の新規性があると考ええる。

## 6.2 課題と今後の研究展開

実務への適用を念頭に、本研究の技術的な課題と今後必要と考える研究事項を述べる。

### 走行速度を考慮した動的軸重の活用

稲野ら<sup>189)</sup>は、走行速度が高いと「道路構造物が受けるダメージ」が大きくなることを示唆する実験を行っている。2.4.1 に示したとおり、ETC2.0 や商用車運行管理サービスでは位置情報に加え、走行速度情報についても把握することができる。しかし現在のところ、速度と道路構造物が受けるダメージとの関係についての十分な知見が得られていないことから、本研究では速度の影響を考慮していない。道路構造物のダメージをより高い精度で把握するためにも、今後の研究展開として次を挙げる。

- ・ 複数の走行速度と車両重量の組合せの条件下で「道路構造物が受けるダメージ」を分析し、走行速度とダメージとの関係を定量化すること（車両重量カテゴリー毎）。
- ・ 「重量計を通過する際の速度情報」と「対象とする道路構造物を通過する際の速度情報」を用いて「車重計での計測重量」を補正する手法を構築すること。

### 収集した交通荷重情報の「サンプル」から「総量」を推計する方法

本研究の分析では、車重計カバー率が100%になるまで配置箇所の選定を行ったものの、実社会では全車両の重量データを得るために十分な数の車重計が配置されることは現実的でない。つまり、図 1-3 で示した方法で収集できるのは、交通荷重情報の「総量」の一部の「サンプル」である。このため今後、OD 量（重量ベース）の分布などに基づき、収集した交通荷重情報の「サンプル」から「総量」を推計する方法についての研究を行うことが望ましい。

### 取締（重量超過車両を検知）の効率性を考慮した配置方法

本章では「交通荷重情報を効率的に収集する」という観点での車重計の配置方法を示した。しかし、実務で車重計の配置箇所を選定する際には、「取締の効率性」という観点も考慮する必要がある（例えば、コードンライン上に車重計を配置する等）。今後は、「交通荷重情報収集の効率性」及び「重量超過車両検知の効率性」の両者を最大にする配置方法についても研究を行うことが望ましい。

### 「一般道における対距離・重量課金」や「適正経路への誘導施策」への活用

本研究では、位置データと重量データから道路ネットワーク上の交通荷重情報を収集する方法を示した。2.6.3 で述べたように、これと同じ情報を一般道路における対距離・重量課金の基礎情報として活用することができる。欧州のように事前に登録されたカタログ値としての重量でなく、輸送時の実重量を把握できるため、実際の道路構造物へのダメージの度合いに応じた料金徴収が可能になる。また、現在実施されている「適正経路

への誘導施策<sup>44</sup>」においても、指定された経路を重量車両が適正に走行しているかどうかを確認するツールとしても活用することができる。

今後、本研究の成果を道路構造物の交通荷重の把握だけでなく、将来の対距離・重量課金制度の検討や適正経路の誘導施策においても活用できるよう、必要な事項について研究を行うことが有益であると考ええる。

#### 「車両本体で計測する重量情報」の活用

本研究では、車重計での計測重量を交通荷重情報の基礎情報として用いることを提案した。一方、荷台を支える車軸に設置した装置により、車両本体で積載物の重量を計測する技術の開発が行われている<sup>190</sup>。これを用いると、道路上に車重計を配置することなく、交通荷重情報を収集することが可能になる。今後の技術開発動向、計測にかかる費用、計測精度、計測情報の信頼性確保等を考慮し、車両本体で計測する重量情報の活用方法についても研究を行うことが望ましい。

---

<sup>44</sup> 適正な道路利用を促進するため、道路法等の一部を改正（2014年5月施行）。高規格幹線道路や直轄国道といった基幹的な道路に加え、空港、港湾、鉄道駅等の主要な交通結接点へのアクセスルート等として利用される道路を「大型車誘導区間」として指定。特車ゴールド制度（2.4.1.1 参照）を利用する車両は、大型車誘導区間に指定された全区間を走行することができる（2016年1月より）。ただし、最低1経路については特殊車両通行許可申請（2.2.1 参照）を行う必要がある。

## 謝辞

本論文を結ぶにあたり、研究遂行にご指導ご協力いただいた多くの方々に感謝の意を表します。

筑波大学大学院システム情報工学研究科 岡本直久先生には、指導教員として研究テーマの模索時期から数多くのご指導をいただきました。また、博士号取得の厳しさや心構えなどの精神面についてもご助言いただき、退学を思い留まり論文完成の日を迎えることができました。深甚なる感謝を申し上げます。

筑波大学大学院システム情報工学研究科 石田東生先生、鈴木勉先生、高宮進先生、谷口守先生、堤盛人先生、橋本浩良先生には、論旨の展開方法から章構成などの博士論文に求められる作法についてまでご指導いただきました。研究内容の見直しと追加分析などの大手術を経て、論文の完成度を大幅に高めることができました。合格ラインぎりぎりクリアを目論んでいた当初の論文を改めて読み返すと赤面です。心より感謝を申し上げます。

本論文の執筆に際し、国土交通省国土技術政策総合研究所の上司や同僚からの温かい応援が励みになりました。上坂克巳氏（当時道路研究室長）には、博士号取得のきっかけを与えていただくとともに、研究内容について親身になって一緒に考えていただきました。学術面だけでなく実務での有用性が重要であるとの助言が本論文の基礎となりました。塚田幸広氏（当時道路研究部長）、森望氏（当時道路研究部長）には、社会人学生として快く送り出していただいただけでなく、遠方からも終始温かい励ましの言葉をかけていただきました。心より感謝いたします。

国土交通省 鈴木彰一氏、石尾真理氏、宮原史氏、柴登茂子氏、株式会社地域未来研究所 田名部淳氏、前田雅人氏、一般財団法人計量計画研究所 萩野保克氏、剣持健氏をはじめとする諸氏には、研究内容についての貴重なアドバイスをいただくとともに研究遂行にご協力いただきました。厚くお礼を申し上げます。

最後に、研究活動を許し励まし続けてくれた妻 志保子と、本稿執筆中に誕生して日々の元気を与えてくれた娘 紗良に感謝して筆を置きます。

2016年2月

関谷浩孝

## 参考文献

## 第1章

- 1) 西川和廣:社会資本ストックの戦略的維持管理とは何か, 国土技術政策総合研究所資料, No.482, pp.7-22, 2008.
- 2) 道路橋の予防保全に向けた有識者会議:道路橋の予防保全に向けた提言, 2008.
- 3) 東京都建設局:橋梁の管理に関する中期計画・戦略的な予防保全型管理の実現に向けて(概要版), p.11, 2009.
- 4) 国土交通省道路局:橋梁定期点検要領, 2004.
- 5) 国土交通省道路局:地方公共団体の現状(技術者、点検方法), <http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/torikumi.pdf>
- 6) 国土交通省北海道開発局:北海道道路メンテナンス会議, [http://www.hkd.mlit.go.jp/zigyoka/z\\_doro/roukyuka/index.html](http://www.hkd.mlit.go.jp/zigyoka/z_doro/roukyuka/index.html)
- 7) 西沢俊広:橋梁・トンネル点検用打音検査飛行ロボットシステムの研究開発, 日本電気株式会社資料, <http://www.jst.go.jp/sip/event/k07/20141105/www/pdf/2-1.pdf>, 2014.
- 8) 国土交通省:次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会, [https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/sosei\\_constplan\\_fr\\_000024.html](https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/sosei_constplan_fr_000024.html)
- 9) 国土技術政策総合研究所:報道記者発表資料「ロボットで老朽化が進む橋を点検する現場検証を行います」, <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/kisya/journal/kisya20141010-2.pdf>.
- 10) 国土交通省中部地方整備局:中部圏インフラ用ロボットコンソーシアム, <http://www.cbr.mlit.go.jp/kensetsu-ict/robot/>.
- 11) 西川和廣, 村越潤, 上仙靖, 中島浩之:橋梁の架替に関する調査結果(Ⅲ), 土木研究所資料, Vol.3512, 1997.
- 12) 次村英毅, 村越潤, 麓興一郎:既設鋼桁橋の疲労損傷度評価法に関する検討, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.59, No.1, pp.265-266, 2004.
- 13) 次村英毅, 村越潤, 麓興一郎:応力頻度測定結果を基にした既設橋の疲労損傷度の評価に関する検討, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.58, No.1, pp.833-834, 2003.
- 14) 川畑篤敬, 井口進, 内田大介, 松下裕明, 玉越隆史, 石尾真理:鋼床版橋梁の疲労損傷を対象とした調査点検手法の立案に向けた実橋調査, 第5回道路橋床版シンポジウム論文集, Vol.5, pp.241-246, 2006.
- 15) 三木千壽:鋼橋のメンテナンス, 橋梁と基礎, Vol.35, No.8, pp.50-53, 2001.
- 16) 宮村善保:「自動車荷重適正化」と道路の老朽化対策, 道路, 2014-12, pp.66-69, 2014.
- 17) 鈴木啓悟, 佐々木栄一, 三木千壽, 山田均, 高岡愛, 宮崎早苗:交通状況の自動判別機能を組み込んだ低速車自動車両重量分析システム, 応用力学論文集, Vol. 11, pp.997-1004, 2008.

- 18) 柳木功宏, 江守昌弘, 野見山尚志, 井上恵介: 特定プローブデータを活用した貨物車交通解析の一事例, 第33回交通工学研究発表会論文集, pp.251-254, 2013.
- 19) 土屋三智久, 金子玲大, 大井孝通, 河田明博, 笠井 厳祐: 貨物車プローブデータを活用した道路整備効果の分析事例, 土木計画学研究・講演集, Vol.50, CD-ROM (No.302), 2014.
- 20) 岡英紀, 毛利雄一, 萩野保克: 貨物車関連ビッグデータの活用方法に関する検討, IBS Annual Report 研究活動報告 2014, pp.74-75, 2014.
- 21) 国土交通省: 第4回(2005年)全国幹線旅客純流動調査 207 生活圏ゾーン, [http://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/jyunryuudou/doc/207\\_Zone2005.pdf](http://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/jyunryuudou/doc/207_Zone2005.pdf)
- 22) 武田超, 谷下雅義, 鹿島茂: 都市圏における貨物自動車の道路選択行動に関する研究, 日本物流学会誌, Vol. 2000, No. 8, pp.118-127, 2000.
- 23) 坪井兵太, 秋山孝正: ファジィ・ニューラルネットワークを用いた経路選択行動のモデル化, 土木計画学研究・論文集, Vol.15, pp.509-516, 1998.
- 24) 藤井聡, 守田武史, 北村隆一, 杉山守久: 不確実性に対する態度の差異を考慮した交通需要予測のための経路選択モデル, 土木計画学研究・論文集, Vol. 16, pp.569-575, 1999.
- 25) 三輪富生, 森川高行: プローブカーデータを利用した経路選択行動に関するモデル分析, 土木計画学研究・論文集, Vol.21, pp.553-560, 2004.
- 26) 田中康仁, 小谷通泰, 中村賢一郎: 旅行時間の不確実性が貨物車の配送行動へ及ぼす影響の分析, 土木計画学研究・論文集, Vol.24, pp.473-480, 2007.
- 27) 国土交通省道路局: 第2回道路技術小委員会(2015年2月)配付資料, 道路土工構造物技術基準の制定について, p.9, <http://www.mlit.go.jp/common/001084128.pdf>.
- 28) 淡中泰雄, 藪雅行, 宮武裕昭: 道路土工構造物技術基準の制定について, 道路, No.2015-5, p.4, 2015.

## 第2章

- 29) 国土交通省道路局: 道路の老朽化対策に向けた大型車両の通行の適正化方針, <http://www.mlit.go.jp/common/001039265.pdf>.
- 30) i北陸: 北陸新幹線 W7 系金沢港から陸送の様子, <http://ihoku.jp/ishikawa/13175.html>.
- 31) 国土交通省道路局: 特殊車両通行許可制度, [http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/topindex/topindex\\_g02\\_4.html](http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/topindex/topindex_g02_4.html)
- 32) 国土交通省道路局: 平成 25 年度道路交通管理統計, 2015.
- 33) 国土交通省道路局: 特殊車両の通行に関する指導取締りの強化について, [http://www.mlit.go.jp/report/press/road01\\_hh\\_000026.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/road01_hh_000026.html)
- 34) 国土交通省道路局: 道路の老朽化対策に向けた大型車両の通行の適正化方針について, [http://www.mlit.go.jp/report/press/road01\\_hh\\_000420.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/road01_hh_000420.html).

- 35) 東日本高速道路株式会社：道路法第 47 条第 2 項違反者（重量超過車両）の告発について（新たな実施方針に基づいた、東日本高速道路（株）初の告発事案），  
[http://www.e-nexco.co.jp/pressroom/press\\_release/kanto/h27/0603/](http://www.e-nexco.co.jp/pressroom/press_release/kanto/h27/0603/).
- 36) 国土交通省道路局：重量超過車両の走行実態，<http://www.mlit.go.jp/common/000024127.pdf>.
- 37) 東日本高速道路株式会社：違反概要別添，  
[http://www.e-nexco.co.jp/pressroom/press\\_release/kanto/h27/0603/pdfs/01.pdf](http://www.e-nexco.co.jp/pressroom/press_release/kanto/h27/0603/pdfs/01.pdf).
- 38) 社団法人日本道路協会：舗装の構造に関する技術基準・同解説，2001.
- 39) 松井繁之：移動輪荷重を受ける道路橋 RC 床版の疲労強度と水の影響について，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.9，No.2，pp.627-632，1987.
- 40) 松井繁之：橋梁の寿命予測，安全工学，Vol.30，No.6，pp.432-440，1991.
- 41) 石崎茂，松井繁之：2 方向指示された RC 床版の劣化機構と耐久性評価法に関する研究，土木学会論文集，No.738/I-64，pp.257-270，2003.
- 42) 長谷俊彦，上東泰，安松敏雄：長支間 PC 床版の移動輪荷重走行疲労試験による耐久性評価，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.21，No.3，pp.259-264，1999.
- 43) 中谷昌一，内田賢一，西川和廣，神田昌幸，宮崎和彦，川間重一，松尾伸二：道路橋床版の疲労耐久性に関する試験，国土技術政策総合研究所資料，Vol.28，p.45，2002.
- 44) Transport Research Board: Effect of Truck Weight on Bridge Network Costs, NCHRP REPORT, Vol.495, p.45, 2003,
- 45) 東日本高速道路株式会社：道路法違反者の告発について（6 月 3 日定例会見），  
[http://www.e-nexco.co.jp/pressroom/press\\_release/kanto/h27/0603/](http://www.e-nexco.co.jp/pressroom/press_release/kanto/h27/0603/)
- 46) 国土技術政策総合研究所：平成 25 年度道路構造物に関する基本データ集，国土技術政策総合研究所資料，No.822，2015.
- 47) 国土交通省道路局：道路統計年報 2014（橋梁の現況），  
<http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/tokei-nen/2014/nenpo03.html>
- 48) 国土交通省道路局：道路統計年報 2014（橋梁の現況），  
<http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/tokei-nen/2014/nenpo03.html>
- 49) 国土技術政策総合研究所：住宅・社会資本の管理運営技術の開発，国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告，第 4 号，pp537-538，2006.
- 50) 社会資本整備審議会・交通政策審議会：今後の社会資本の維持管理・更新のあり方について答申（本格的なメンテナンス時代に向けたインフラ政策の総合的な充実～キックオフ「メンテナンス政策元年」～今後の社会資本の維持管理），p.8，2013.
- 51) 国土交通省道路局：道路統計年報 2014，表 151-2，  
<http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/tokei-nen/2014/pdf/kyouryouhi151.pdf>
- 52) 国土交通省近畿地方整備局兵庫国道事務所：特殊車両通行許可違反の取締り強化，  
[www.kkr.mlit.go.jp/hyogo/communication/43renrakukai/43hankou/data/2003-05-19-07.pdf](http://www.kkr.mlit.go.jp/hyogo/communication/43renrakukai/43hankou/data/2003-05-19-07.pdf)
- 53) 国土交通省道路局：平成 25 年度道路交通管理統計，車両取締基地，p.58，2015.

- 54) 国土交通省道路局：平成 25 年度道路交通管理統計，指導取締結果等，p.67，2015.
- 55) 国土交通省道路局：特殊車両の通行に関する指導取締りの強化について，p.2，  
<http://www.mlit.go.jp/common/000024127.pdf>
- 56) 国土交通省道路局：基本政策部会第 11 回物流小委員会・第 7 回物流体系小委員会合同会議資料 4，p.5，[http://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/road01\\_sg\\_000259.html](http://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/road01_sg_000259.html)
- 57) 会計検査院：平成 23 年度決算検査報告，特殊車両の通行に関する指導取締りに係る自動計測装置の運用について，<http://report.jbaudit.go.jp/org/h23/2011-h23-0586-0.htm>.
- 58) 参議院事務局：国土交通委員会議録第六号平成 25 年 5 月 28 日（第 183 国会），p.3，  
[http://mail.intra.hkd.mlit.go.jp/cgi-bin/downfile/B/57484818444\\_tmp1A.pdf/18305280064006.pdf?HTTP\\_COOKIE=%20key%3D%240655F05B.sekiya-h92tb@hkd.mlit.go.jp%3Asekiya-h92tb%3Amail.intra.hkd.mlit.go.jp%3Ajp&fake=18305280064006.pdf](http://mail.intra.hkd.mlit.go.jp/cgi-bin/downfile/B/57484818444_tmp1A.pdf/18305280064006.pdf?HTTP_COOKIE=%20key%3D%240655F05B.sekiya-h92tb@hkd.mlit.go.jp%3Asekiya-h92tb%3Amail.intra.hkd.mlit.go.jp%3Ajp&fake=18305280064006.pdf)，2013.
- 59) 浜田誠也：スマートウェイ推進会議が「提言」まとめる，Traffic&Business 季刊・道路新産業，No.76，pp.28-29，2004.
- 60) 一般財団法人 ITS サービス高度化機構：ETC 統合情報ポータルサイト，  
<http://www.go-etc.jp/>
- 61) 国土交通省道路局道路交通管理課高度道路交通システム推進室：スマートウェイ（ITS スポット）について，電気設備学会誌，Vol.31，No.11，pp846-849，2011.
- 62) 金澤文彦：ITS スポットの全国展開－「スマートウェイ」実現に向けた技術開発，建設工業調査会，ベース設計資料，No.150，pp.53-56，2011.
- 63) 金澤文彦：スマートウェイの実証実験と展開、第 10 回 ITS シンポジウム企画セッション 1-2 路車協調システム，2011，  
<http://www.its-jp.org/wp-content/uploads/2011/03/1-2-1-kanazawa.pdf>
- 64) 藤本聡：プローブデータについて，国土技術政策総合研究所レポート，No.10，pp.28-29，2011.
- 65) 国土交通省道路局：ETC2.0 装着車への特殊車両通行許可簡素化制度に関するお知らせ，  
[http://www.tokusya.ktr.mlit.go.jp/PR/tokusyagold\\_pr.html](http://www.tokusya.ktr.mlit.go.jp/PR/tokusyagold_pr.html)
- 66) 国土交通省道路局道路交通管理課 ITS 推進室：ビッグデータを活用した道路行政の展開，道路，No.2014-4，pp12-15，2014.
- 67) 牧野浩志，鹿野島秀行，田中良寛，佐治秀剛：ETC2.0 プローブ情報の活用方法の体系化に関する研究，土木計画学研究・講演集，Vol.51，CD-ROM (No.240)，2015.
- 68) 団野敏彦：ITS 時代への対応（IV），富士通テン技報，Vol.17、No.1，2013.
- 69) ISUZU：みまもりくん，<http://www.isuzu.co.jp/cv/cost/mimamori/>
- 70) 株式会社日立ソリューションズ：トラック運行管理 ASP サービス e-trasus（イートラサス），<http://www.hitachi-solutions.co.jp/e-trasus/>
- 71) 上月力：商用車用運行管理システムひのこんぱす，  
<https://www.jsae.or.jp/~dat1/mr/motor27/mr2708.pdf>.

- 72) 株式会社システック：「ロジこんばす」で運行管理を支援,  
<http://www.weekly-net.co.jp/system/post-7138.php>.
- 73) 日本通運：運行管理システムを刷新（新システム「オペレーション支援システム」の運用開始）, <http://www.nittsu.co.jp/press/2014/20140708-1.html>
- 74) 濱島光宏：商用車プローブの収集と活用可能性, 交通工学, Vol.50, No.1, p.31, 2015.
- 75) 一般財団法人日本デジタル道路地図協会：<http://www.drm.jp/>.
- 76) 島田孝司, 平賀典生：商用車プローブデータ他のデータ提供における品質の担保, 人間工学, Vol.50, p.82-83, 2014.
- 77) 金澤文彦, 田中良寛, 澤田泰征：ITS スポットの特定プローブ情報を活用した物流支援サービスの効果と評価検証例, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.69, No. 2, pp.19-27, 2013.
- 78) 鈴木彰一, 金澤 文彦, 田中 良寛：実験データによる ITS スポットを用いた大型車両の走行経路照合手法の比較分析, 交通工学研究発表会論文集, Vol.33, pp.401-407, 2013.
- 79) 鈴木彰一, 田中良寛, 佐治秀剛, 牧野浩志：ITS スポットを用いた特殊車両の走行状況確認方法の提案と実験データによる検証, 交通工学論文集, 特集号 Vol.1, No.2, pp.47-52, 2015.
- 80) 柳木功宏, 江守昌弘, 野見山尚志, 井上恵介：特定プローブデータを活用した貨物車交通解析の一事例, 第 33 回交通工学研究発表会論文集, pp.251-254, 2013.
- 81) 土屋三智久, 金子玲大, 大井孝通, 河田明博, 笠井 厳祐：貨物車プローブデータを活用した道路整備効果の分析事例, 土木計画学研究・講演集, Vol.49, CD-ROM (No.302), 2014.
- 82) 岡英紀, 毛利雄一, 萩野保克：貨物車関連ビッグデータの活用方法に関する検討, IBS Annual Report 研究活動報告 2014, pp.74-75, 2014.
- 83) 築地貴裕, 鈴木彰一, 鹿谷征生, 牧野浩志：ETC2.0 プローブを用いた物流拠点へのアクセス道路の利用実態分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.51, CD-ROM (No.126), 2015.
- 84) 濱島光宏：商用車プローブの収集と活用可能性, 交通工学, Vol.50, No.1, p.33, 2015.
- 85) 李亮源, 柴崎亮介：李空間統計アプローチに基づいた GNSS 測位精度向上手法の開発, Theory and Applications of GIS, Vol.18, No.2, pp.73-84, 2010.
- 86) 国土交通省：トラックにおける運行記録計の装着義務付け対象拡大のための検討会第 4 回会議資料 (2014 年 3 月), [http://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha\\_tk2\\_000015.html](http://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_tk2_000015.html)
- 87) 牧野浩志, 鹿野島秀行, 田中良寛, 佐治秀剛：ETC2.0 プローブ情報の活用方法の体系化に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.51, CD-ROM (No.240), 2015.
- 88) 一般財団法人 ITS サービス高度化機構:セットアップ件数の推移-ETC2.0(2015 年 12 月), <https://www.go-etc.jp/fukyu/etc2/index.html>.
- 89) 一般財団法人 ITS サービス高度化機構:セットアップ件数の推移-ETC (2015 年 12 月), <https://www.go-etc.jp/fukyu/etc/index.html>.

- 90) 社会資本整備審議会道路分科会国土幹線道路部会：高速道路を中心とした「道路を賢く使う取組」の基本方針（案），<http://www.mlit.go.jp/common/001066094.pdf>.
- 91) 社会資本整備審議会道路分科会国土幹線道路部会：高速道路を中心とした「道路を賢く使う取組」中間答申（案），[http://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/road01\\_sg\\_000249.html](http://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/road01_sg_000249.html).
- 92) 一般財団法人自動車検査登録情報協会：車種別（詳細）保有台数表，<https://www.airia.or.jp/publish/statistics/ub83el00000000wo-att/01.pdf>
- 93) 国土交通省：運行記録計の普及・義務化ロードマップ，<http://www.mlit.go.jp/common/001035645.pdf>
- 94) 株式会社矢野経済研究所：<http://www.yano.co.jp>.
- 95) 森健一郎：商用車向けテレマティクス市場に関する調査結果 2014，<http://www.yano.co.jp/press/pdf/1299.pdf>
- 96) 国土交通省：交通需要推計検討資料，p.123，<http://www.mlit.go.jp/road/kanren/suikai/juyou.html>
- 97) 三木千寿，村越潤，米田利博，吉村洋司：走行車両の重量測定，橋梁と基礎，Vol. 21，No. 4，pp. 41-45，1987.
- 98) 西川和廣，村越潤，宮崎和彦：橋梁を用いた車両重量の計測（WIM）システムの開発，土木技術資料，Vol. 38，No. 1，pp.8-9，1996.
- 99) 米田昌弘，枝元勝哉：遺伝的アルゴリズムを適用した Bridge Weigh-in-Motion システム，構造工学論文集，Vol. 50A，pp. 707-718，2004.
- 100) 小林裕介，三木千壽，田辺篤史：リアルタイム全自動処理 Weigh-In-Motion による長期交通荷重モニタリング，土木学会論文集，No.772，I-69，pp.99-111，2004.
- 101) 山口栄輝，松尾一志，河村進一，小林裕介，森昌文，百田国廣，西之原達志：2 径間連続鋼桁橋を用いた BWIM の精度，応用力学論文集，Vol.7，pp.1135-1140，2004.
- 102) 松井繁之，Ahmed El-hakim：RC 床版のひびわれの開閉量による輪荷重の測定に関する研究，構造工学論文集，Vol.35A，pp.407-418，1989.
- 103) 石尾真理，中谷昌一，玉越隆史，中洲啓太：影響線の重ね合わせを用いた WIM システムについて，土木学会年次学術講演会講演概要集，Vol.57，No.1，pp.1447-1448，2002.
- 104) 小塩達也，山田健太郎，小林直人，水野良浩：鋼 I 桁橋の縦桁を用いた Bridge Weigh-in-Motion システムの開発，構造工学論文集，Vol. 47A，pp. 1083-1091，2001.
- 105) 小塩達也，山田健太郎，若尾政克，因田智博：支点反力による BWIM を用いた自動車軸重調査と荷重特性の分析，構造工学論文集，Vol.49，pp.743-753，2003.
- 106) 森田 俊樹，小塩 達也，深田 宰史：自動車荷重・橋梁・地盤の同期モニタリングとその分析，土木学会年次学術講演会講演概要集，Vol.58，No.1，pp.1537-1538，2003.
- 107) 石井孝男，篠原修二：東名高速道路の交通荷重測定と荷重特性について，土木学会論文集，No. 453，pp.163-170，1992.
- 108) 石井孝男，井口忠司，篠原修二：東名高速導路における通行車両の連行特性，土木学会論文集，No.492，pp. 39-46，1994.

- 109) 鈴木啓悟, 佐々木栄一, 三木千壽, 山田均, 高岡愛, 宮崎早苗: 交通状況の自動判別機能を組み込んだ低速車自動車両重量分析システム, 応用力学論文集, Vol. 11, pp.997-1004, 2008.
- 110) 前掲 103)
- 111) 兵藤哲朗, シジニィ・シュライナー, 高橋洋二: 東京都市圏物資流動調査を用いた大型貨物車走行経路のモデル分析, 土木計画学研究・論文集, Vol.24, No.3, pp.405-412, 2007.
- 112) 東京都市圏交通計画協議会: 東京都市圏物資流動調査, <https://tokyo-pt.jp/pd/index.html>.
- 113) 秋田直也, 小谷通泰, 島田和政: 阪神臨海部における国際海上コンテナ輸送トラックの経路選択行動に関する分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.32, CD-ROM (No.378), 2005.
- 114) 柴崎隆一, 渡部富博, 角野隆: 国際海上コンテナの国内輸送ネットワークにおける通行上の制約に関する分析と解消効果の試算, 運輸政策研究, Vol.7, No.4, pp.15-26, 2005.
- 115) 中野光治, 田中慎次, 奥山真治, 竹内新一, 山田忠史: 物流の影響を考慮した実務的で体系的な貨物交通量推計モデル, 土木計画学研究・講演集, Vol.44, CD-ROM (No.42), 2011.
- 116) 越智大介: 海上コンテナ車の陸上輸送実態把握への適用, JSTE 第2回プローブ研究会, 調査事例報告資料, 2006.
- 117) 萩野保克, 兵藤哲朗, 宮原ゆい: 「特車申請電子データ及び道路情報便覧データを用いた海上コンテナ車の経路選択特性」, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.67, No.5, pp.599-609, 2012.
- 118) M. John Hodgson: The location of public facilities intermediate to the journey to work, *Regional Studies*, Vol.15, pp.493-506, 1981.
- 119) 齋藤淳, 田中健一, 沼田一道: 利用者の立ち寄り行動に着目した新規店舗の最適立地モデル, 日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会アブストラクト集, 2-A-3, pp.170-171, 2006.
- 120) 鈴木勉: 都市内流動を最小化するフロー需要施設配置モデルを用いた拠点立地に関する考察, 都市計画論文集, Vol.38, pp.391-396, 2003.
- 121) 東京都市圏交通計画協議会: 平成10年東京都市圏パーソントリップ調査(総合都市交通体系調査) 報告書, 2001.
- 122) 鈴木勉: フロー需要に基づく施設配置モデルと需要構成が施設配置に与える影響, 日本都市計画学学術研究論文集, Vol.37, pp.115-120, 2002.
- 123) M. John Hodgson, Kenneth E. Rosing and Jianjun Zhang: Locating Vehicle Inspection Stations to Protect a Transportation Network, *Geographical Analysis*, Vol. 28, pp.299-314, 1996.
- 124) M. John Hodgson: A billboard location model, *Geographical Analysis*, Vol. 22, pp.270-279, 1990.
- 125) 田中健一, 古田壮宏: 施設の設置コストを考慮したフロー捕捉型配置問題(京王電鉄鉄道網における列車種別を考慮した配置分析), 日本オペレーションズ・リサーチ学会と文論誌, Vol.55, pp.161-176, 2002.
- 126) 財団法人運輸政策研究所: 平成12年大都市交通センサス, 2012.

- 127) 谷口栄一, 則武通彦, 山田忠史, 泉谷透: 物流ターミナルの最適規模及び配置の決定法に関する研究, 土木学会論文集, No. 583, IV-38, pp.71-81, 1998.
- 128) 山田忠史, 則武通彦, 谷口栄一, 多賀慎: 物流ターミナルの最適配置計画への多目的計画法の適用, 土木学会論文集, No. 632, IV-45, pp.41-50, 1999.
- 129) Transport Certification Australia (オーストラリア交通認証局) :  
[http://www.tca.gov.au/index.php?option=com\\_joomdoc&task=cat\\_view&gid=62&Itemid](http://www.tca.gov.au/index.php?option=com_joomdoc&task=cat_view&gid=62&Itemid)
- 130) Australian Government (オーストラリア) : National Transport Commission (Model Legislation - Intelligent Access Program) Regulations 2006,  
<http://www.comlaw.gov.au/Details/F2006L01758>
- 131) Transport Certification Australia (オーストラリア交通認証局) : what-is-the-iap,  
<http://www.tca.gov.au/regulatory-telematics/iap/what-is-the-iap>.
- 132) State of Queensland Department of Transport and Main Roads (オーストラリア・クイーンズランド州交通部) : Intelligent Access Program (IAP),  
<http://www.tmr.qld.gov.au/Business-industry/Heavy-vehicles/Compliance-and-enforcement/Intelligent-Access-Program.aspx>
- 133) State of Queensland Department of Transport and Main Roads (オーストラリア・クイーンズランド州交通部) : /Intelligent-Access-Program,  
<http://www.tmr.qld.gov.au/business-industry/Heavy-vehicles/Compliance-and-enforcement/Intelligent-Access-Program.aspx>
- 134) State of Queensland Department of Transport and Main Roads (オーストラリア・クイーンズランド州交通部) : Higher-mass-limits,  
<http://www.tmr.qld.gov.au/Business-andindustry/Heavy-vehicles/Higher-mass-limits.aspx>
- 135) European Commission : Charging of Heavy Goods Vehicles in the EU,  
[http://ec.europa.eu/transport/modes/road/road\\_charging/doc/hgv\\_charging.jpg](http://ec.europa.eu/transport/modes/road/road_charging/doc/hgv_charging.jpg)
- 136) 西川了一, 昆信明: 重量貨物車の道路利用課金に関するユーロビニエット指令の動向と我が国への示唆, 運輸政策研究, Vol.14, No.1, p.24, 2011.
- 137) European Commission : Official Journal of the European Union, Directive 2011/76/EU of the European Parliament and of the Council of 27 September 2011 amending Directive 1999/62/EC on the charging of heavy goods vehicles for the use of certain infrastructures,  
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32011L0076>
- 138) Verkehr und Mobilität : Karte mautpflichtige Bundesstraßen ab 01.07.2015 (nicht barrierefrei) ,  
<http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/Strasse/karte-mautpflichtige-bundesstrassen-ab-2015-07-01.html>
- 139) Toll Collect : Toll Road Network,  
[https://www.toll-collect.de/en/web/public/toll\\_collect/rund\\_um\\_die\\_maut/mautpflichtige\\_strassen/mautpflichtige\\_strassen.html](https://www.toll-collect.de/en/web/public/toll_collect/rund_um_die_maut/mautpflichtige_strassen/mautpflichtige_strassen.html)
- 140) Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure in Germany :  
[http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/Strasse/karte-mautpflichtige-bundesstrassen-ab-2015-07-01.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/Strasse/karte-mautpflichtige-bundesstrassen-ab-2015-07-01.pdf?__blob=publicationFile)

- 141) Toll Collect :  
<http://www.toll-collect.de/en/press/press-releases/current-state-of-the-truck-toll-system-in-germany.html>
- 142) Toll Collect : Log-on Options,  
[https://www.toll-collect.de/en/web/public/toll\\_collect/presse/pressemitteilungen/pressemitteilung\\_en.html](https://www.toll-collect.de/en/web/public/toll_collect/presse/pressemitteilungen/pressemitteilung_en.html)
- 143) Toll Collect : Basic Route Data,  
[https://www.toll-collect.de/en/web/public/toll\\_collect/presse/pressemitteilungen/pressemitteilung\\_en.html](https://www.toll-collect.de/en/web/public/toll_collect/presse/pressemitteilungen/pressemitteilung_en.html)
- 144) Toll Collect : Provisional toll rates effective from 1 October 2015,  
[https://www.toll-collect.de/en/web/public/toll\\_collect/rund\\_um\\_die\\_maut/maut\\_tarife/maut\\_tarife\\_neu.html](https://www.toll-collect.de/en/web/public/toll_collect/rund_um_die_maut/maut_tarife/maut_tarife_neu.html)
- 145) Toll Collect : Support Beacons,  
[https://www.toll-collect.de/en/web/public/toll\\_collect/presse/pressemitteilungen/pressemitteilung\\_en.html](https://www.toll-collect.de/en/web/public/toll_collect/presse/pressemitteilungen/pressemitteilung_en.html)
- 146) Toll Collect : Control Gantries,  
[https://www.toll-collect.de/en/web/public/toll\\_collect/presse/pressemitteilungen/pressemitteilung\\_en.html](https://www.toll-collect.de/en/web/public/toll_collect/presse/pressemitteilungen/pressemitteilung_en.html)
- 147) Toll Collect : On-Board Unit,  
[https://www.toll-collect.de/en/web/public/toll\\_collect/presse/pressemitteilungen/pressemitteilung\\_en.html](https://www.toll-collect.de/en/web/public/toll_collect/presse/pressemitteilungen/pressemitteilung_en.html)
- 148) Martin Ruesch : Appropriate Means of Transport for Goods, Results from the Swiss National Research Programme,  
[http://www.aipcr.ch/fileadmin/redacteur/pdf/Int\\_Kongresse\\_Mexico\\_TSB\\_Ruesch.pdf](http://www.aipcr.ch/fileadmin/redacteur/pdf/Int_Kongresse_Mexico_TSB_Ruesch.pdf)
- 149) TRT Trasporti e Territorio : Pricing System for Road Freight Transport in EU Member States and Switzerland, p.12, 2008.
- 150) TRT Trasporti e Territorio : Pricing System for Road Freight Transport in EU Member States and Switzerland, p.30, 2008.
- 151) TRT Trasporti e Territorio : Pricing System for Road Freight Transport in EU Member States and Switzerland, p.31, 2008.
- 152) TRT Trasporti e Territorio : Pricing System for Road Freight Transport in EU Member States and Switzerland, p.18, 2008.
- 153) TRT Trasporti e Territorio : Pricing System for Road Freight Transport in EU Member States and Switzerland, p.12, 2008.
- 154) Joebstl : LKW Maut in Osterreich, <http://www.joebstl.at/infopool/lkw-maut/oesterreich/>, 2010.
- 155) TRT Trasporti e Territorio : Pricing System for Road Freight Transport in EU Member States and Switzerland, p.19, 2008.
- 156) TRT Trasporti e Territorio : Pricing System for Road Freight Transport in EU Member States and Switzerland, p.21, 2008.

- 157) 西川了一, 昆信明: 重量貨物車の道路利用課金に関するユーロビニエット指令の動向と我が国への示唆, 運輸政策研究, Vol.14, No.1, p.27, 2011.

### 第3章

- 158) 国土交通省道路局道路交通管理課: 道路情報便覧資料調査要領, 2007.
- 159) 社団法人全日本トラック協会海上コンテナ部会: 海上コンテナ輸送事業者名簿, 2008.
- 160) 笹井秀哉, 兵藤哲朗, 鈴木紀一, 高橋洋二: 自転車経路選択モデルの比較検討分析, 土木計画学研究・論文集, Vol.21, No.2, pp.597-606, 2004.
- 161) 鈴木紀一, 高橋勝美, 兵藤哲朗: 自転車走行環境に着目した鉄道端末自転車需要予測方法の提案, 交通工学, Vol.33, No.5, pp.13-21, 1998.
- 162) 前掲 117)
- 163) 前掲 160)
- 164) 前掲 161)
- 165) 萩野保克, 兵藤哲朗, 宮原ゆい: 「特車申請電子データ及び道路情報便覧データを用いた海上コンテナ車の経路選択特性」, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.67, No.5, p.607, 2012.

### 第4章

- 166) 国土交通省: 第8回全国貨物純流動調査 (H17 物流センサス), 2008.
- 167) 関谷浩孝, 奥谷正, 小林正憲, 南部浩之: 国内における貨物流動 OD の推計, 土木計画学研究・講演集, Vol.37, 2008.
- 168) 東京都市圏交通計画協議会: 東京都市圏物資流動調査, <https://tokyo-pt.jp/pd/index.html>.
- 169) 吉田禎雄, 原田昇: 均衡配分用 BPR 式パラメータの推計, 土木学会論文集 No. 695/IV-54, pp.91-102, 2002.
- 170) 毛利雄一, 牧村和彦, 高橋勝美, 松井浩, 趙勝川, 中嶋康博, 井上紳一: 道路交通需要予測の理論と適用, 社団法人土木学会, 2003.
- 171) 高橋勝美, 毛利雄一, 井上紳一: 均衡配分適用における課題と対応, 土木計画学研究・講演集, Vol.25, 2002.
- 172) 秋山孝正, 安田幸司, 奥嶋政嗣, 椎谷拓也: 都市高速道路乗り継ぎ制における最適設定方法についての研究, 土木学会論文集, No.751, pp.13-25, 2004.
- 173) 松井寛, 藤田素弘: 高速道路を含む都市圏道路網における利用者均衡配分モデルの実用化に関する研究, 土木学会論文集, No.653, pp.85-94, 2000.
- 174) 雲林院康宏, 藤田素弘, 松井寛: 高速道路転換率モデルを組み込んだ確率的均衡配分の実用化, 土木情報利用技術論文集, Vol.12, pp.123-132, 2003.
- 175) 井上紳一, 山口修一, 鈴木裕介, 円山琢也, 森田綽之: 高速道路上の経路選択を考慮した拡張型利用者均衡配分モデルの実証的研究, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 67, No. 5, pp.779-786, 2011.

- 176)公益社団法人全日本トラック協会：車両総重量と積載量,  
<http://www.jta.or.jp/coho/hayawakari/8.sekaisai.html>
- 177)ISUZU：主要諸元, <http://www.isuzu.co.jp/cv/data/index.html>
- 178)UDトラック：主要諸元, <http://www.udtrucks.com/ja-jp/service-and-parts/faq/specification>
- 179)日野自動車：主要諸元,  
[http://www.hino.co.jp/etc/designs/hino/images/pdf/service/revolve/profia\\_semi.pdf](http://www.hino.co.jp/etc/designs/hino/images/pdf/service/revolve/profia_semi.pdf)
- 180)三菱ふそう：主要諸元,  
[http://www.mitsubishi-fuso.com/jp/lineup/truck/super\\_great/10/specification/](http://www.mitsubishi-fuso.com/jp/lineup/truck/super_great/10/specification/)
- 181)総務省：労働力調査，2014年就業者統計表，Ⅱ－A年齢階級，職業別就業者数，2014.
- 182)文部科学省：平成25年度体力・運動能力調査報告書，p.62，2014.

## 第5章

- 183)加藤武彦，田中佳代，浅田昌利，安原宏行，立木佳那栄，児玉迪弘，安原佑輔，浅井俊弘，荻内康雄：自動ナンバープレート読取装置の開発，SEIテクニカルレビュー，Vol.181，pp.99-102，2012.

## 第6章

- 184)前掲111)
- 185)前掲117)
- 186)井上紳一，山口修一，鈴木裕介，円山琢也，森田綽之：高速道路上の経路選択を考慮した拡張型利用者均衡配分モデルの実証的研究，土木学会論文集D3（土木計画学），Vol.67，No.5，pp.779-786，2011.
- 187)松井寛，藤田素弘：高速道路を含む都市圏道路網における利用者均衡配分モデルの実用化に関する研究，土木学会論文集，No.653，pp.85-94，2000.
- 188)雲林院康宏，藤田素弘，松井寛：高速道路転換率モデルを組み込んだ確率的均衡配分の実用化，土木情報利用技術論文集，Vol.12，pp.123-132，2003.
- 189)稲野茂，小塚清，大城温：ITSを活用した大型車両の重量計測に関する検討，国土技術政策総合研究所資料，No.813，pp.42-43，2014. .
- 190)小林篤，上森一範：ローリー車載重量計システム，大陽日酸技報，Vol.23，pp.76-77，2004.

## 研究業績

## 1 本稿に関連のある査読付き論文

- ・ 関谷浩孝, 上坂克巳, 松本俊輔, 古川誠: 国際海上コンテナ車の走行経路特性, 土木技術資料, Vol.52, No.11, pp.16-19, 2010.
- ・ Hirotaka Sekiya, Katsumi Uesaka, Shunsuke Matsumoto, Makoto Furukawa: Transport Characteristics and Road Structure Factors Influencing Container Truck Route Selection, Proceedings of the International Conference on Transport and Logistics (T-LOG), Vol.3, 2010.
- ・ Hirotaka Sekiya, Katsumi Uesaka, Masanori Kobayashi, Hiroyuki Nambu: Factors Influencing Freight Truck Route Selection, Proceedings of the 13th REAAA Conference 2009, Vol.13, 2009.

## 2 本稿に関連のない査読付き論文

- ・ 関谷浩孝, 諸田恵士, 高宮進: プローブ旅行時間データの取得状況と旅行時間信頼性指標値の信頼度との関係, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.70, No.5, pp. 559-568, 2014.
- ・ 関谷浩孝, 諸田恵士, 高宮進: プローブ旅行時間データの取得状況と旅行時間信頼性指標値の信頼度との関係, 土木技術資料, Vol.56, No.2, pp.38-41, 2014.
- ・ 関谷浩孝, 上坂克巳, 橋本浩良, 高宮進: 「画像処理による交通量計測手法」についてのインドネシア公共事業省道路研究所との共同研究, 土木技術資料, Vol.55, No.7, pp.24-27, 2013.
- ・ Hirotaka Sekiya, Handiyana Ariepin, Katsumi Uesaka Sami Gunarta, Hiroyoshi Hashimoto, Susumu Takamiya: Measurement of Traffic Volume Using Image Processing Technology in Indonesia, Proceedings of the International Road Federation World Meeting (IRF), Vol.17, 2013.
- ・ Hirotaka Sekiya, Handiyana Ariepin, Katsumi Uesaka, Disi Mochamad Hanafiah, Hiroyoshi Hashimoto, Susumu Takamiya: Application of Image Processing Technology to Traffic Volume Survey in Indonesia, Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies (EASTS), Vol.9, 2013.
- ・ Hirotaka Sekiya, Handiyana Ariepin, Katsumi Uesaka, Pantja Dharma Oetojo, Hiroyoshi Hashimoto: Joint Research Project between Indonesia and Japan for Traffic Volume Survey Using Image Processing Technology (IPT) in Indonesia, Proceedings of the 14th REAAA Conference 2013, Vol.14, 2013.
- ・ 関谷浩孝, 上坂克巳, 小林正憲, 南部浩之: 輸送品の特性と貨物車の高速道路利用率との関係, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.67, No.5, pp.769-777, 2011.
- ・ 上坂克巳, 関谷浩孝, 橋本浩良, 原田優子, 奥谷正, 吉岡伸也, 野間真俊: 道路交通における旅行時間信頼性の調査分析及び評価方法に関する実用的研究, 国土技術政策総合研究所資料, Vol.660, 2011.
- ・ 関谷浩孝, 小林正憲, 上坂克巳, 古川誠, 奥谷正, 南部浩之, 柴崎隆一: 輸送貨物の価値に着目した貨物流動分析の基礎データ (貨物 OD データ) の構築手法, 国土技術政策総合研究所資料, Vol.575, 2010.
- ・ 関谷浩孝, 上坂克巳, 小林正憲: 国際海上コンテナ貨物車の道路上の交通流推計, 国総研プロジェクト研究報告, Vol.29, pp.123-142, 2010.

### 3 査読なし論文

- ・ 諸田恵士, 関谷浩孝, 高宮進, 上坂克巳: 時間信頼性指標値算定手法, 国土技術政策総合研究所資料, Vol.790, 2014.
- ・ 関谷浩孝, 諸田恵士, 高宮進: プローブデータの取得状況と旅行時間信頼性指標の算定精度との関係, 土木計画学研究・講演集, Vol.47, CD-ROM (No.384), 2013.
- ・ 関谷浩孝, 諸田恵士, 高宮進, 上坂克巳: 画像処理による交通量計測手法, 日本道路会議講演集, Vol.30, CD-ROM (No.1023), 2013.
- ・ 諸田恵士, 関谷浩孝, 高宮進: 時間信頼性指標の算定方法に関する研究, 日本道路会議講演集, Vol.30, CD-ROM (No.1021), 2013.
- ・ Tohru Tamura, Hiroataka Sekiya, Teiji Goto, Tetsuya Yamada A New Scheme for Evaluating Road Projects by Considering Their Effects After Disasters, Routes/Roads, Vol.356, pp.72-79, 2012.
- ・ 関谷浩孝, 上坂克巳, 諸田恵士: プローブデータを用いた一般幹線道路における旅行時間信頼性指標の算定方法～交通調査基本区間単位の標準偏差を統合～, 土木計画学研究・講演集, Vol.45, CD-ROM (No.261), 2012.
- ・ 諸田恵士, 関谷浩孝, 上坂克巳: 旅行時間変動に影響を与える要因の特定及び旅行時間信頼性指標算定式の推計, 土木計画学研究・講演集, Vol.45, CD-ROM (No.260), 2012.
- ・ 関谷浩孝, 上坂克巳, 小林正憲, 柴崎隆一: 道路施策によるコンテナ利用港湾の変化と施策効果の算定方法に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.44, CD-ROM (No.P46), 2011.
- ・ 関谷浩孝, 上坂克巳, 門間俊幸, 橋本浩良, 中西 雅一: プローブカーデータを用いた複数経路からなる OD 間の旅行時間変動指標, 土木計画学研究・講演集, Vol.43, CD-ROM (No.264), 2011.
- ・ 関谷浩孝, 上坂克巳, 橋本浩良: 英国における道路事業評価プロセスについての最新の状況, 交通工学, Vol.45, No.3, pp.72-79, 2010.
- ・ Hiroataka Sekiya, Katsumi Uesaka, Hiroyoshi Hashimoto, Toshiyuki Momma, Tomohiko Kawano: Study on Traffic Survey Measures Using Probe Data in Japan, Proceedings of International Symposium on Environmentally Friendly Road and Transport in Climate Changes in October 2010 in Indonesia, 2010.
- ・ 関谷浩孝, 上坂克巳, 小林正憲, 南部浩之: 貨物車の経路選択に与える要因, 土木計画学研究・講演集, Vol.39, CD-ROM (No.265), 2009.
- ・ 関谷浩孝, 上坂克巳, 小林正憲: 道路ネットワークの連結信頼性を考慮した道路構造物の補修優先順位付け, 日本道路会議講演集, Vol.28, CD-ROM (No.20001), 2009.
- ・ Akira Fujimoto, Hideyuki Kanoshima, Hiroataka Sekiya, Shunsuke Matsumoto, Efficient Operation of Road Network, Routes/Roads, Vol.343, pp.44-49, 2009.
- ・ 関谷浩孝, 小林正憲, 南部浩之, 奥谷正: 国内における貨物流動 OD の推計, 土木計画学研究・講演集, Vol.37, CD-ROM (No.26), 2008.
- ・ 関谷浩孝: 今後の社会資本整備についての基礎的研究, 国土交通政策研究, Vol.11, pp.1-23, 2002.

- ・ 関谷浩孝, 藤田喜文, 卷上安爾: AVI システムを用いた旅行時間算定に関する基礎的研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.19, No.2, pp733-736, 1996.
- ・ 村上陽二郎, 関谷浩孝, 卷上安爾: 自動車両認識装置(AVI)を用いた旅行時間計測システムの検証, 土木学会関西支部年次学術講演会講演概要, pp IV.38.1-IV.38.2, 1995.
- ・ Hiroataka Sekiya, Yasuji Makigami, Yojiro Murakami: Estimating the Travel Time Using Automatic Vehicle Identification System (AVI), Conference of Australian Institutes of Transport Research (CAITRE), 1995.

#### 4 書籍・記事

- ・ 関谷浩孝, 諸田恵士: 旅行時間信頼性に関する指標を用いた評価事例, コロナ社書籍, 道路交通の信頼性評価 (第9章), pp.133-150, 2014.
- ・ 諸田恵士, 関谷浩孝, 高宮進: 「時間信頼性指標値算定マニュアル」の作成, 国総研レポート2014, p.92, 2014.
- ・ 関谷浩孝, 橋本浩良, 諸田恵士, 高宮進: 画像処理による交通量計測～インドネシア公共事業省道路研究所 (IRE) との共同研究～, 国総研レポート2013, p.83, 2013.
- ・ 諸田恵士, 関谷浩孝, 高宮進: 道路交通の旅行時間信頼性指標, 国総研レポート2013, p.120, 2013.
- ・ 関谷浩孝, 鈴木一史: 第14回 REAAA 道路会議に出席して, 土木技術資料, Vol.55, No.7, p.48, 2013.
- ・ 諸田恵士, 関谷浩孝, 上坂克巳: 英国における交通量推計の特徴と道路事業の便益算定方法, 土木技術資料, Vol.54, No.10, pp.41-42. 2012.
- ・ 関谷浩孝: 国際会議報告第24回世界道路会議PIARC メキシコ大会, 道路, Vol.850, pp.65-66, 2012.
- ・ 関谷浩孝, 上坂克巳, 松本俊輔, 古川誠: 国際海上コンテナ車の走行経路の特性, 国総研レポート2011, p.73, 2011.
- ・ 諸田恵士, 上坂克巳, 関谷浩孝: 英国における新たな道路交通の時間信頼性指標, 土木技術資料, Vol.53, No.12, pp.48-49. 2011.
- ・ 関谷浩孝, 小林正憲, 南部浩之, 上坂克巳: 輸送品の特性と貨物車の高速道路利用率の関係, 国総研レポート2010, p.69, 2010.
- ・ 山川朝生, 鳥居康政, 関谷浩孝: 第13回 REAAA 道路会議報告, 道路, Vol.826, pp.66-67, 2010.

#### 5 表彰

- ・ Best Paper Award at the 14th REAAA Conference (March 2013)  
Hiroataka Sekiya, Handiyana Ariepin, Katsumi Uesaka, Pantja Dharma Oetojo, Hiroyoshi Hashimoto: Joint Research Project between Indonesia and Japan for Traffic Volume Survey Using Image Processing Technology (IPT) in Indonesia, 14th REAAA International Conference 2013, Kuala Lumpur Malaysia.
- ・ Highly Commended Paper Award at the 13th REAAA Conference (September 2009)  
Hiroataka Sekiya, Katsumi Uesaka, Masanori Kobayashi, Hiroyuki Nambu: Factors Influencing Freight Truck Route Selection, 13th REAAA International Conference 2009, Inchon Korea.