

# TUMSAT-OACIS Repository - Tokyo

University of Marine Science and Technology

(東京海洋大学)

災害直後の支援物資供給に対する事前巡回路方策

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2018-07-12 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 張, 成程 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://oacis.repo.nii.ac.jp/records/1581">https://oacis.repo.nii.ac.jp/records/1581</a>

修士学位論文

災害直後の支援物資供給に対する事前巡回  
路方策

平成 29 年度

(2018 年 3 月)

東京海洋大学大学院  
海洋科学技術研究科  
海運ロジスティクス専攻

張 成程

# 目次

第1章	はじめに.....	2
1.1	研究の背景と目的.....	2
1.2	論文構成.....	3
第2章	先行研究.....	4
第3章	事前巡回路方策.....	6
3.1	事前巡回路方策の概要.....	6
3.2	情報管理.....	7
3.3	配送方式.....	8
3.3.1	ルート先・クラスター後法とは.....	8
3.3.2	満載出発方式（go when full policy）とは.....	9
第4章	実験.....	10
4.1	METRO について.....	10
4.1.1	METRO とは.....	10
4.1.2	METRO の使用条件.....	10
4.2	データについて.....	10
4.3	実験の結果 1.....	12
4.4	実験の結果 2.....	17
第5章	おわりに.....	23
5.1	結論.....	23
5.2	今後の課題.....	23
	謝辞.....	24
	参考文献.....	25

# 第1章 はじめに

## 1.1 研究の背景と目的

近年、大規模な自然災害が際立っている。2011年の東日本大震災及び2016年の熊本地震をはじめとして、強台風や大雨とそれらに伴った洪水や土砂災害、火山活動など様々な災害が頻発しているが、災害の対応において十分な支援物資をいき届かない避難所が結構あるという問題は発生する。熊本地震を例として、熊本地震で県庁や市役所の集積所には、被災地外からの支援物資があふれていたが、被災者がいる避難所には支援物資が届かず、SOSを発信する避難所が埋まってしまう。

その状況が発生してしまう原因として、被災地内での配送能力が不足していることが挙げられる。支援物資の郵送フローは「被災地外の供給地点 => 物資集積拠点 => 被災地内の都道府県の集積所 => 各市区町村の集積所 => 避難所」という通常の段階であり、国の依頼を受けた輸送業者は被災した都道府県の集積所までの輸送を行い、都道府県の依頼を受けた輸送業者は各市区町村までの輸送を行う。末端の避難所への配送は各市区町村に委ねられているが、被災した市区町村にその能力を求めることは難しい。輸配送能力の差から、中継地点となる集積所などに物資がたまってしまう。

避難所の情報が不足はもう一つの原因である。具体的にどの避難所に避難者が何人いるか、避難所の位置がどこにあるかという情報を被災発生直後にすべて把握して共有することは難しい。避難所への配送の際に、配送経路や位置などの情報などは中継地点に必要となる。

久保らが災害発生直後の支援物資供給システムが満たすべき原則を示している[1]。本研究にかかわる内容を以下に示す。

- 災害発生直後の被災地は電子機器やインターネットが使えないことを前提とすべきである。電子機器やインターネットを使うことなく、効率的な物流を行う必要がある。
- 災害発生後に配送と同時に情報収集し、被災地内で自立的に効率化を図ることが必要である。

本研究では、上記の原則に基づき、避難所の情報と事前巡回路を組み合わせた情報の取り扱いや配送方法という事前順回路方策を提案する。

## 1.2 論文構成

本論文の構成は以下の通りである.

- 第2 章では, 先行研究を紹介する.
- 第3 章では, 事前巡回路方策について述べる.
- 第4 章では, 実験の内容と結果について説明する.
- 第5 章では, 結論と今後の課題について述べる.

## 第2章 先行研究

John J. Bartholdi, III らは, “Meals on Wheels” と呼ばれる, 自分で食事を用意できない支援が必要な家へ食事を配送するサービスに対し, 空間重点曲線を用いて生成した巡回回路での配送を提案している [2, 3, 4]. 空間重点曲線とは, 値域が2次元の単位正方形全体を含む曲線である.

シェルピンスキー曲線は単位正方形を二等辺三角形に8分割した区間を全て通る曲線である (図 2.1 参照). その形を極限まで繰り返すことで, 単位正方形は埋めつくされる.

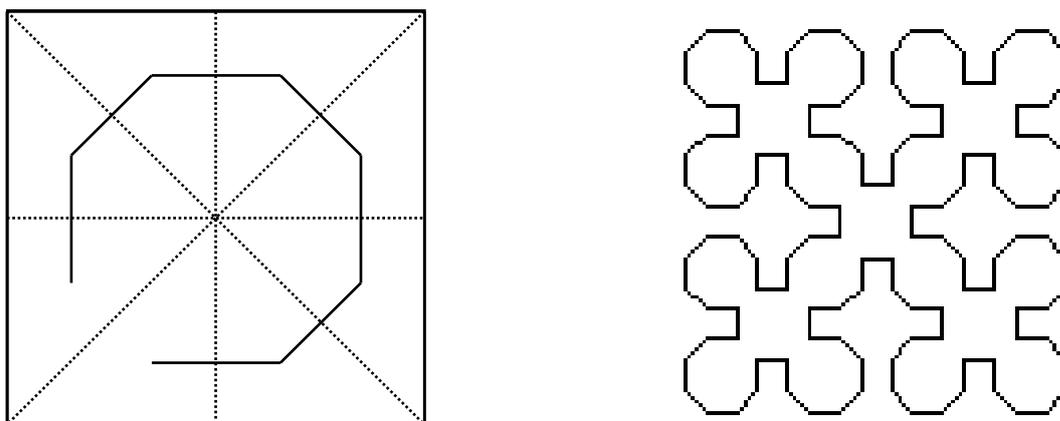


図2.1:シェルピンスキー曲線

地図上にシェルピンスキー曲線を置くと, その曲線上にない配送先も近似して曲線上にプロットすることができる. 曲線上にプロットされた点は, 二次元  $([0,1] \times [0,1])$  の  $x, y$  座標を一次元  $([0,1])$   $\theta$  に写像する. この  $\theta$  順に配送先を結び巡回回路を生成する (図2.2,2.3参照).

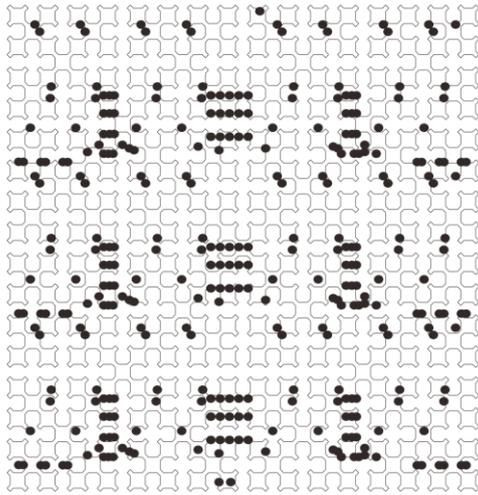


図2.2: シェルピンスキー曲線へのプロット

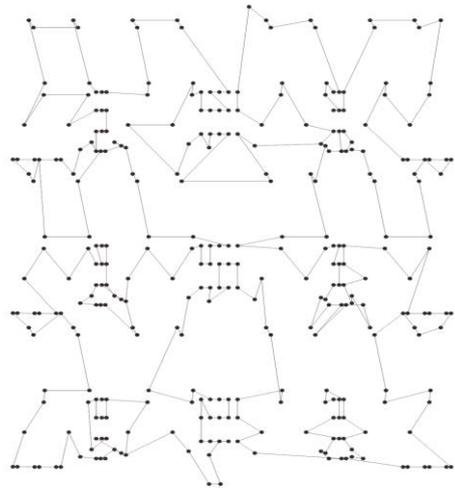


図2.3: 巡回路の生成

こうして生成した巡回路は巡回セールスマン問題の最適解に対し、計算時間は $O(n \log n)$ である。また、配送先の情報は、生成した巡回路 ( $\theta$ ) の順にローロデックスボックスに保管する (図2.4 参照)。

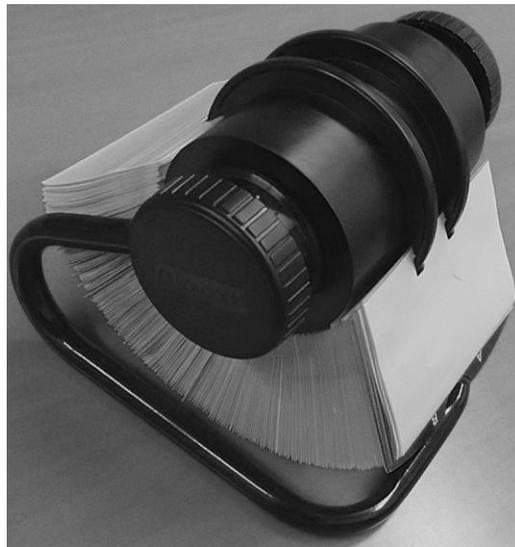


図2.4: ローロデックスボックス

ローロデックスボックスは回転式のカードケースで、情報の追加や変更、削除などを容易に行うことができる。

## 第3章 事前巡回路方策

### 3.1 事前巡回路方策の概要

先行研究に基づいて、事前巡回路方策を避難所の巡回セールスマン問題に適用させる。事前に解いておく大きな問題の対象は、日本中にある避難所の候補に対しての巡回路となる。避難所の位置については事前に全て把握しておくことが好ましい。しかし、災害時には予期していない場所に被災者が避難することも考慮し、人口に対して避難所が少ない地域には候補点を増やす必要がある。巡回路の生成は、各区分の東端、北端などの避難所を巡回路の出発地点とした巡回セールスマン問題の近似解を求める(図3.1)。

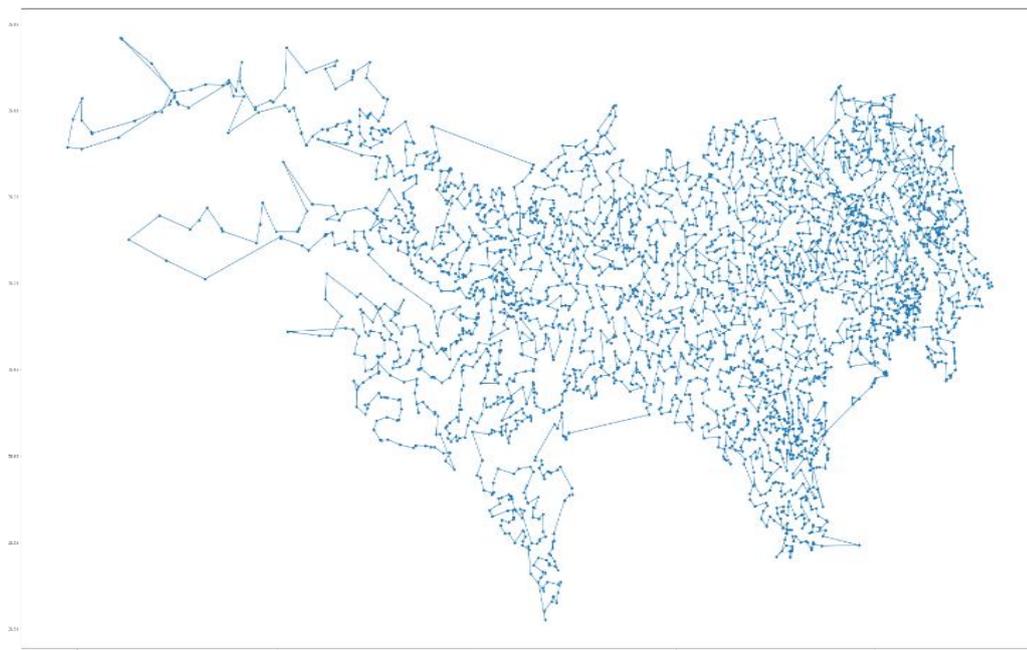


図 3.1 東京の事前巡回路の例

東京の事前巡回路を生成する際に使用したデータは、国土数値情報の避難施設データを使用した[5]。このデータには、一時避難場所や広域避難場所なども含まれている。各避難所間の距離計算はOSRM(Open Source Routing Machine)を用いた[6]。東端を巡回路の出発地点としている。最近傍法で初期解を生成し、局所探索法の2-opt法で改善を行った。

## 3.2 情報管理

巡回路を生成した後、それぞれの避難所の候補に巡回路の番号を与える。事前巡回路を生成した際に避難所の候補地点を増やす場合もあるが、番号を振る際に10倍の数を与える。そうすることにより、予期しない避難所が発生した際、巡回路の間に加えることが出来るようにする。そして、この番号の順に情報を保管しておく。災害発生時、被災地内では電子機器類の使用ができないことを前提に考える必要があるため、情報はカードに保管する（図3.2）。



図 3.2 カードの例

このカードの情報は事前巡回路の番号、名称、住所、座標、収容人数、周辺経路が分かる地図、書き込みができるメモ欄などを記載する。これらのカードは、各市区町村の役場など集積所の候補となるような施設に、地域ごとに必要な部分に分けて保管する。保管は、ローロデックスボックスのように、情報の取り扱いが容易であるものを使用する（図3.3）。



図3.3 ローロデックスボックス

実際の災害発生時には、初回の配送は避難所の情報を収集する必要がある。そのため、避難所の収容人数に対し最低限必要な物資を積み込み、全ての避難所へ配送を行う。そして、避難所が使用されていない、避難所へ向かう道が通れないといった情報を収集する。集めた情報をもとに、カードの束から抜き取り、カードに書き込むといった方法で巡回路を更新することが想定される。

### 3.3 配送方式

事前巡回路を用いた物資の配送と集積所からの発送には、ルート先・クラスター後法 (route-first cluster-second method) での配送と満載出発方式 (go when full policy) での配送を組み合わせて考える。

#### 3.3.1 ルート先・クラスター後法とは

ルート先・クラスター後法は配送計画問題に対する近似解法の1つである。収容人数の情報をもとに、おおよそ必要な物資の量は把握できるため、配送に使われるトラックの容量が一杯になるように避難所のカードの束を分けておく。事前巡回路を分けたカードの束ごとに分割し、集積所とそれぞれのクラスターを結ぶことで配送経路を決定する。巡回路を先に求め (ルート先) (図3.4)， 配送先を分割し (クラスター後) (図3.5)， 配送経路を決定する。

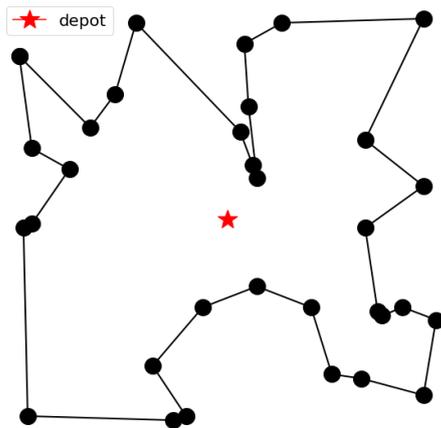


図 3.4 巡回路の生成 (ルート先)

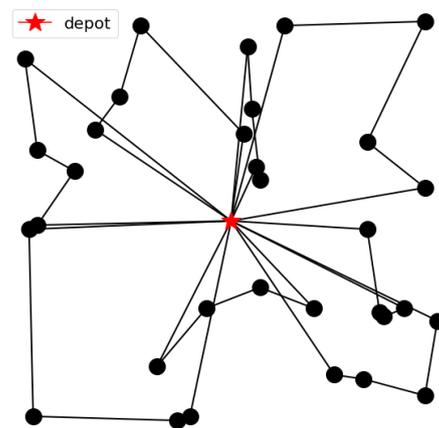


図 3.5 配送先の分割 (クラスター後)

### 3.3.2 満載出発方式 (go when full policy) とは

満載出発方式はトラックの容量が一杯になった時点で物資を発送する。この方式はルート先・クラスター後法での配送と相性が良い。なぜなら、事前巡回路の順で分けたカードの束ごとに待機しているトラックへの積み込みを行うことで、自然にクラスターの形成を行えるためである。積みこみが完了し次第、ドライバーは積みこんだ分のカードを持って各避難所へ配送に向かう。事前巡回路による番号が近い点は近所にあるので、番号がとんでいても番号順に配送することで、効率的な配送を行うことができる。

## 第4章 実験

### 4.1 METRO について

#### 4.1.1 METRO とは

事前巡回路方策、空間充填曲線法を用いた配送と METRO を用いた配送を比較し、事前巡回路戦略の有効性を検証する。

METRO (Meta Truck Routing Optimizer:メトロ)とは、配送計画の意思決定を支援するための最適化システムである。

#### 4.1.2 METRO の使用条件

METRO を使用する際、以下の条件を満たさなければいけない。

- デポは1つ。本研究は各区市の役場をデポにする。
- すべてのトラックはデポから出発する。
- 全ての配送先にトラックが立ち寄るのは1度きり。
- トラックの容量より大きな需要を持つ配送先は存在しない。実際に災害発生の時支援物資は一人当たり一日で4KGを考えているが、本研究はトラックの容量より大きな需要の避難所が存在しないように収容人数が1番大きい避難所の需要をトラック一台分と仮定する。
- トラックの台数は容量を満たす最適な台数として、且つ事前に与える。
- 各地点間の移動費用(距離)は事前に与える。

### 4.2 データについて

本研究は使用したデータは、国土数値情報の避難施設データを使用した。実験の比較対象は東京都の26区市と熊本県の23市郡を行った。それぞれのデータには大きな収容人数の臨時難場所(例：品川区の大井競馬場、しながわ区民公園という避難所の収容人数は105400人)が含まれている。データを処理する際は、そういった屋外の臨時避難場所を除くため「公園、広場、グラウンド」といった名称が含まれているデータは除いた。また各区市役所をデポとして、その座標をデータに入れた。

また、トラックの容量は一台当たり4000kgとする。トラックの容量より大きな需要の避難所が存在しないように、収容人数が各区市の1番大きい避難所の需要をトラック一台分(4000kg)と仮定する。つまり各区市の最大収容人数の避難所の需要は4000kgである。平均需要量は4000kgと最大収容人数の商(4000kg/各区市の最大収容人数)

となる。各避難所の需要量は各避難所の収容人数と平均需要量の積となる。下表は各区市の総需要量である（表 4.1 表 4.2）。

表 4.1 東京各区市の総需要量

区市	施設数	収容人数	需要量
江東区	185	143130	257892
足立区	174	168476	204213
練馬区	132	62717	396943
港区	59	61165	54893
中央区	38	36030	60555
葛飾区	180	123487	127635
江戸川区	163	281829	235791
品川区	124	91092	116560
荒川区	92	59893	80124
大田区	114	152140	243619
新宿区	107	96670	228534
文京区	66	62713	156107
千代田区	21	19395	43732
北区	56	118383	121263
目黒区	81	79267	159171
中野区	52	221600	61986
世田谷区	188	375641	376205
渋谷区	40	83675	86218
杉並区	113	152035	132204
墨田区	50	63275	103645
台東区	50	63273	102466
豊島区	43	88709	89900
板橋区	107	151401	126988
調布市	50	39973	60337
あきる野市	34	15561	18625
羽村市	18	39597	29583

表 4.2 熊本県各市郡の総需要量

市郡	施設数	収容人数	需要量
阿蘇市	41	26412	94497
合志市	23	19096	39721
菊池市	49	46861	95928
熊本市	254	251965	506939
玉名市	74	59106	148508
宇城市	7	10810	19504
宇土市	69	24289	57831
八代市	147	61493	81991
上天草市	47	28785	83799
荒尾市	29	12260	53600
水俣市	72	7620	30348
山鹿市	55	20687	69623
天草市	264	56930	201100
人吉市	116	47552	189261
八代郡	11	4508	17962
天草郡	35	9361	37278
球磨郡	136	30238	120370
葦北郡	57	14450	57532
阿蘇郡	185	55304	220135
玉名郡	68	19178	30685
菊池郡	35	24434	56267
下益城郡	9	4699	18722
上益城郡	184	89942	357998

### 4.3 実験の結果 1

東京のデータをまとめると、事前巡回路方策、空間充填曲線法、METRO 三つの方法による各区市の配送経路を生成し、各区市の配送経路の総距離(費用)が計算できる。表 4.3 は東京の 26 区市の配送経路の総距離(費用)を表している。図 4.1 はその結果の棒グラフである。

表 4.3 三種類の総距離

区市	事前巡回路(m)	METRO(m)	空間充填曲線(m)
江東区	592463	545848	597234
足立区	616644	514009	587118
練馬区	1172561	976994	1173449
港区	157541	120020	150173
中央区	95565	82503	97708
葛飾区	368996	364135	367235
江戸川区	749134	671051	747392
品川区	216910	190213	222618
荒川区	129806	103898	127813
大田区	583281	512096	579187
新宿区	457713	386560	441673
文京区	172482	164940	183163
千代田区	63351	52908	57200
北区	221862	199095	222903
目黒区	278924	271146	297559
中野区	142187	104911	131118
世田谷区	1128063	987490	1143596
渋谷区	176646	159691	178856
杉並区	317480	295662	329589
墨田区	203569	194190	202449
台東区	140039	124636	149396
豊島区	179473	168954	185683
板橋区	451474	398958	437688
調布市	125980	105471	123817
あきる野市	124201	86910	134665
羽村市	40345	38398	41452

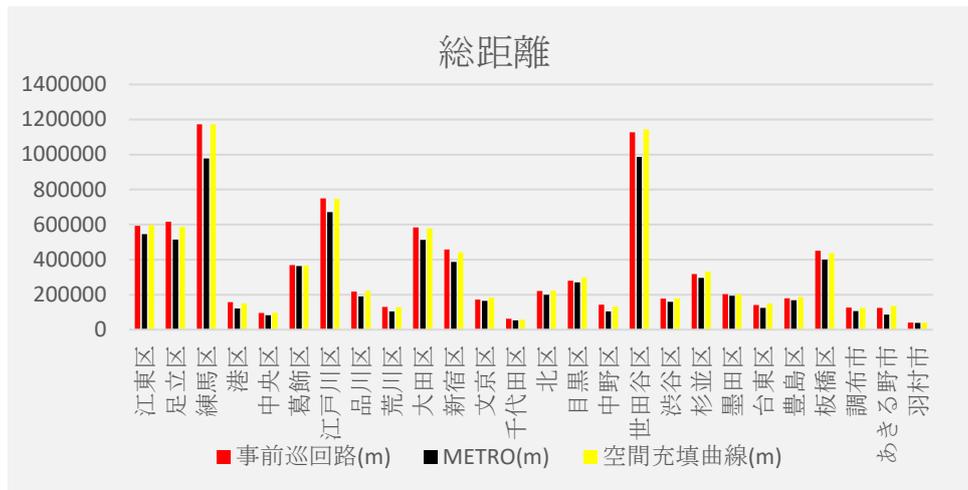


図 4.1 三種類の手法の総距離

事前巡回路方策、空間充填曲線法、METRO の三つの方法が決めた配送経路を初回配送完成する。表 4.4 はそれぞれ使用したトラック台数を表している。図 4.2 はその結果の棒グラフである。

表 4.4 三種類のトラック台数

区市	事前巡回路	METRO	空間充填曲線
江東区	88	65	88
足立区	62	53	60
練馬区	124	101	125
港区	17	14	18
中央区	20	17	20
葛飾区	39	32	41
江戸川区	86	64	83
品川区	36	30	36
荒川区	25	21	25
大田区	82	65	82
新宿区	78	59	76
文京区	42	40	44
千代田区	15	13	13
北区	40	32	39
目黒区	52	41	54
中野区	19	16	18
世田谷区	125	99	127
渋谷区	27	24	29
杉並区	40	34	41
墨田区	38	31	38
台東区	34	28	35
豊島区	29	24	31
板橋区	41	32	39
調布市	19	16	19
あきる野市	6	5	7
羽村市	10	10	10

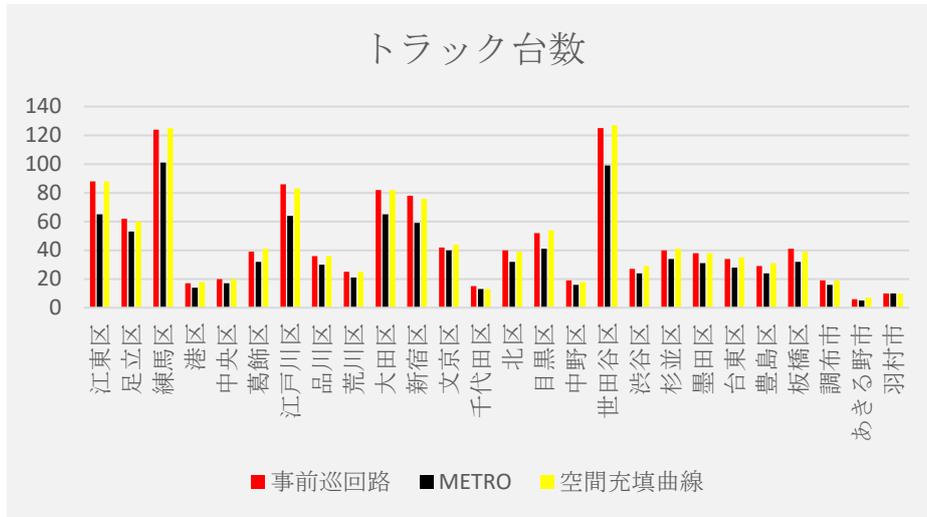


図 4.2 三種類の手法のトラック台数

以上の結果を見ると、やはり METRO(配送計画最適化ソルバー)の実験の結果が良い解を得た。事前巡回路方策と空間充填曲線法の実験結果を比較すると、事前巡回路方策の方が良い場合(練馬区)や空間充填曲線法の方が場合(足立区)があった。既存の実験結果から判断すると、事前巡回路方策と空間充填曲線法に優劣がないことがわかった。

以下の図では、METRO で解いた解を最適解として、事前巡回路方策と空間充填曲線法で解いた解は METRO の解より、どれ位増やしているかを示す(図 4.3 図 4.4)。

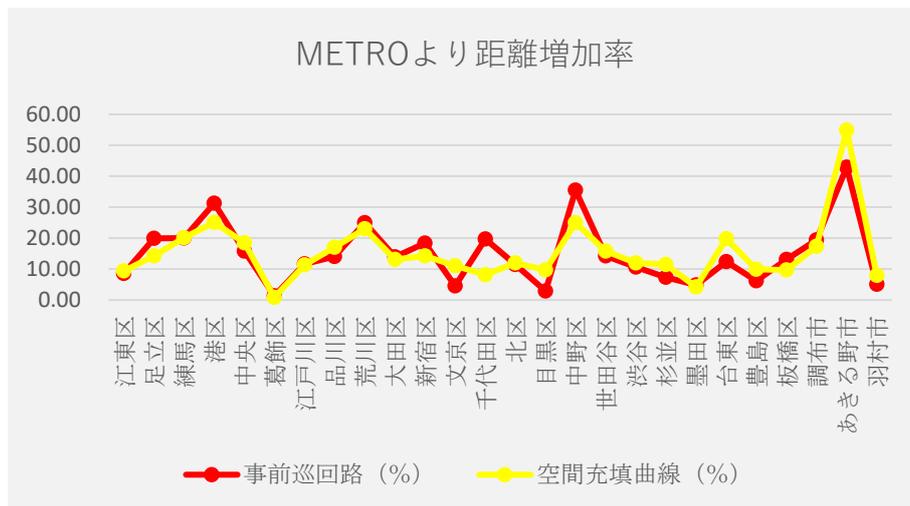


図 4.3 総距離増加率

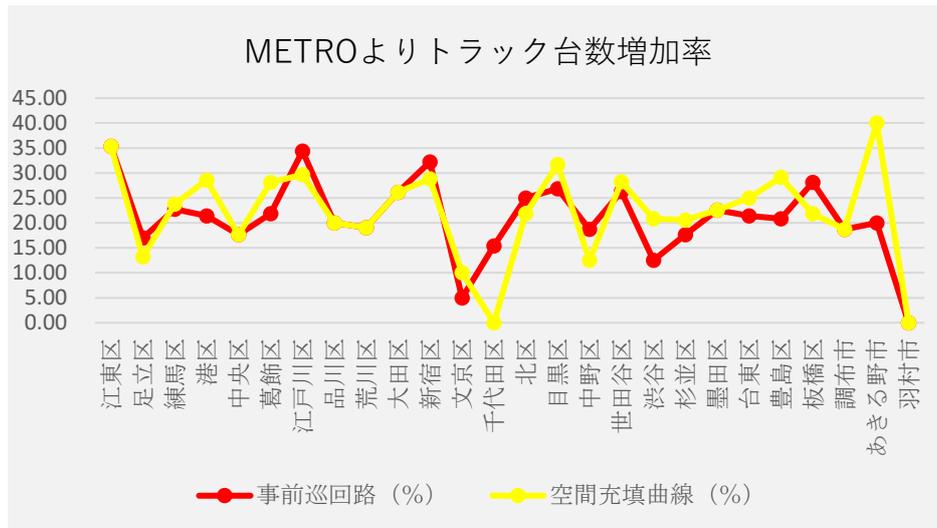


図 4.4 トラック台数増加率

総距離は METRO の解より，事前巡回路方策では，平均で 15.01%増加しており，空間充填曲線法の場合も 15.23%増加しており，トラック台数のほうは METRO の解より，事前巡回路方策が平均で 21.04%増し，空間充填曲線法の場合も 22.06%増加した。

#### 4.4 実験の結果 2

熊本県のデータをまとめる。事前巡回路方策、空間充填曲線法、METRO 三つの方法による各市郡の配送経路の総距離(費用)を計算する。表 4.4 は熊本県各市郡の配送経路の総距離(費用)を表している。図 4.5 はその結果の棒グラフである。

表 4.4 三種類の総距離

市郡	事前巡回路(m)	METRO(m)	空間充填曲線(m)
上益城郡	6942294	5582450	7016356
阿蘇郡	3669311	3187831	3838173
球磨郡	1756180	1471246	1903316
熊本市	2515237	2221486	2526124
天草市	3173737	2611150	3457020
阿蘇市	634450	545726	650227
合志市	144674	119921	132082
菊池市	357084	339844	385120
玉名市	672952	588812	674643
宇城市	120053	120053	120053
宇土市	232297	192249	261183
八代市	735728	587422	806948
上天草市	914340	822812	984652
荒尾市	139271	124922	157901
水俣市	167252	153278	201037
山鹿市	373905	318297	402046
人吉市	599843	539023	626052
八代郡	40977	35085	36996
天草郡	167925	159894	182955
葦北郡	571981	489615	598214
玉名郡	616839	508329	638290
菊池郡	238252	223695	254998
下益城郡	167978	130886	148019

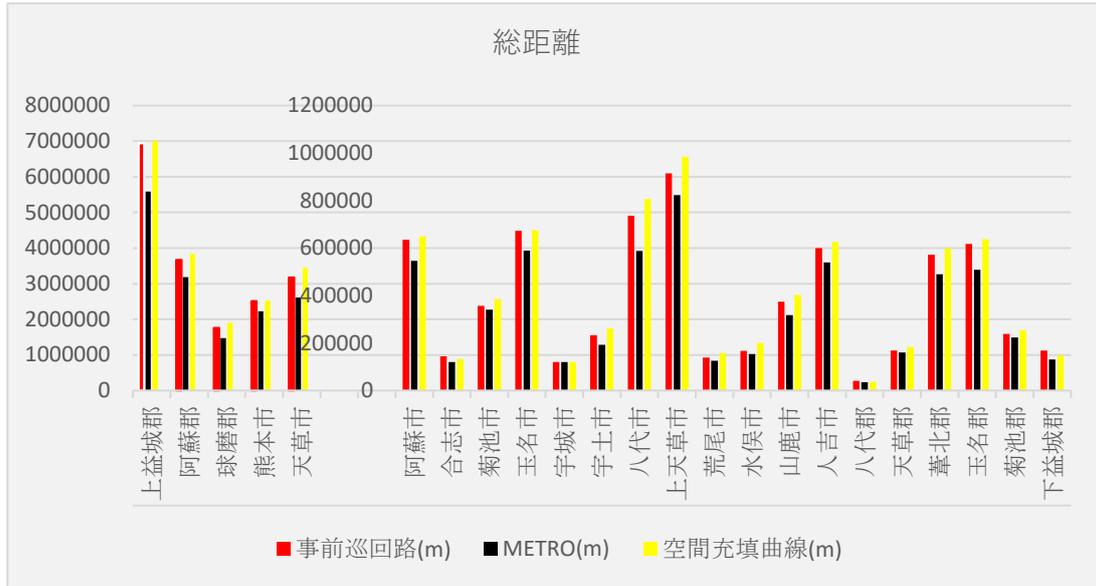


図 4.5 三種類の手法の総距離

事前巡回路方策、空間充填曲線法、METRO の三つの方法が決めた配送経路を初回配送完成する。使用したトラック台数は表 4.5 を表している。図 4.6 はその結果の棒グラフである。

表 4.5 三種類のトラック台数

市郡	事前巡回路	METRO	空間充填曲線
阿蘇市	32	27	33
合志市	13	11	12
菊池市	30	25	30
熊本市	168	135	168
玉名市	49	40	48
宇城市	7	7	7
宇土市	18	15	17
八代市	25	21	25
上天草市	26	22	27
荒尾市	16	14	18
水俣市	9	8	9
山鹿市	23	18	24
天草市	64	51	66
人吉市	67	51	67
八代郡	5	5	6
天草郡	11	10	11
球磨郡	36	31	38
葦北郡	17	15	17
阿蘇郡	69	56	70
玉名郡	9	8	9
菊池郡	18	15	20
下益城郡	7	6	6
上益城郡	122	93	123

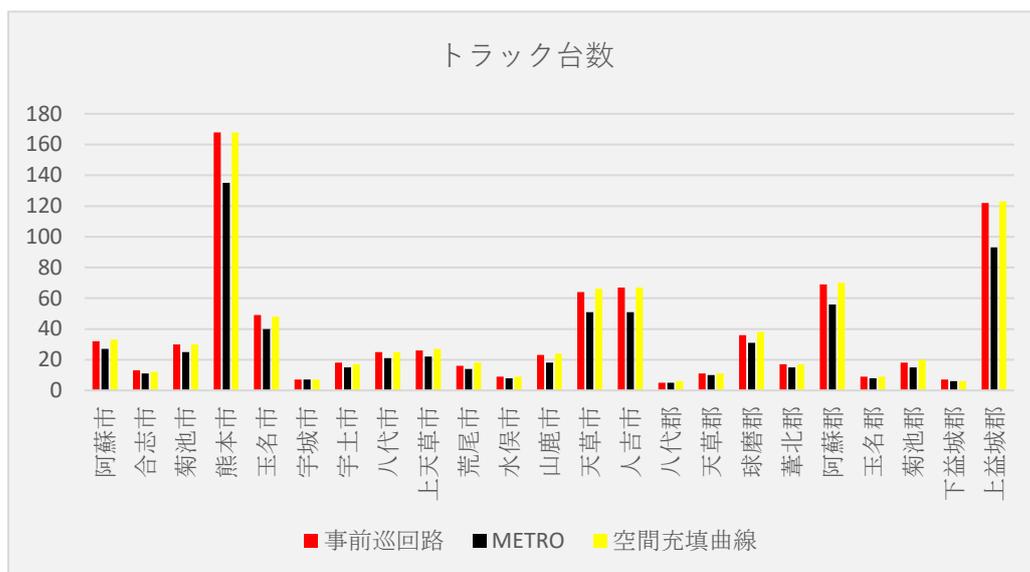


図 4.6 三種類の手法のトラック台数

熊本県の実験結果を見ると、METRO のほうも一番よいのは当然だ。しかも事前巡回路方策と空間充填曲線法の実験結果を比較すると、事前巡回路方策の方が良い場合や空間充填曲線法の方が場合があった。

以下の図は METRO の解（最適化の解）より事前巡回路方策による配送と空間充填曲線法による配送の増加率を表している（図 4.7 図 4.8）。

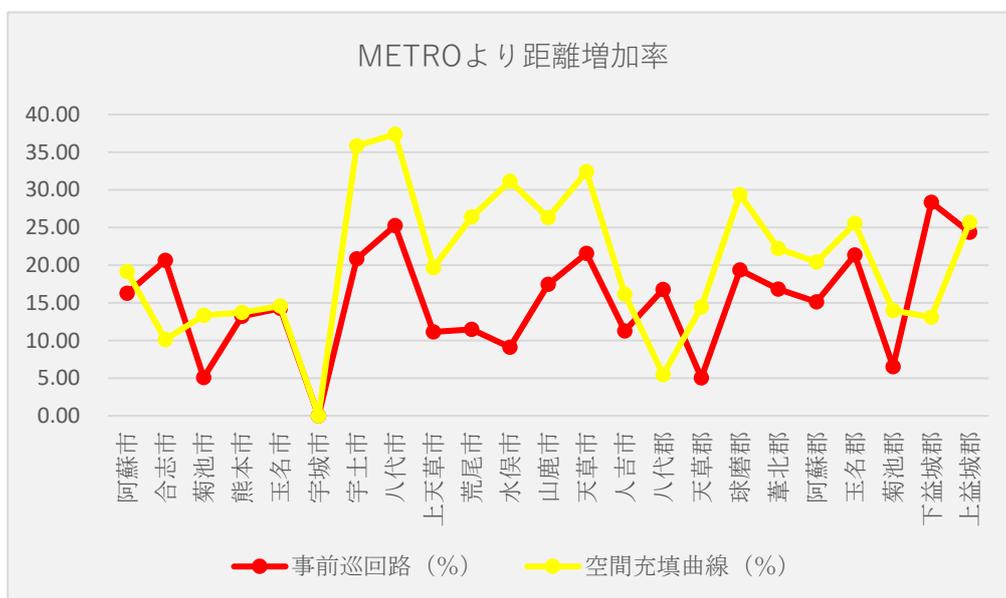


図 4.7 総距離増加率

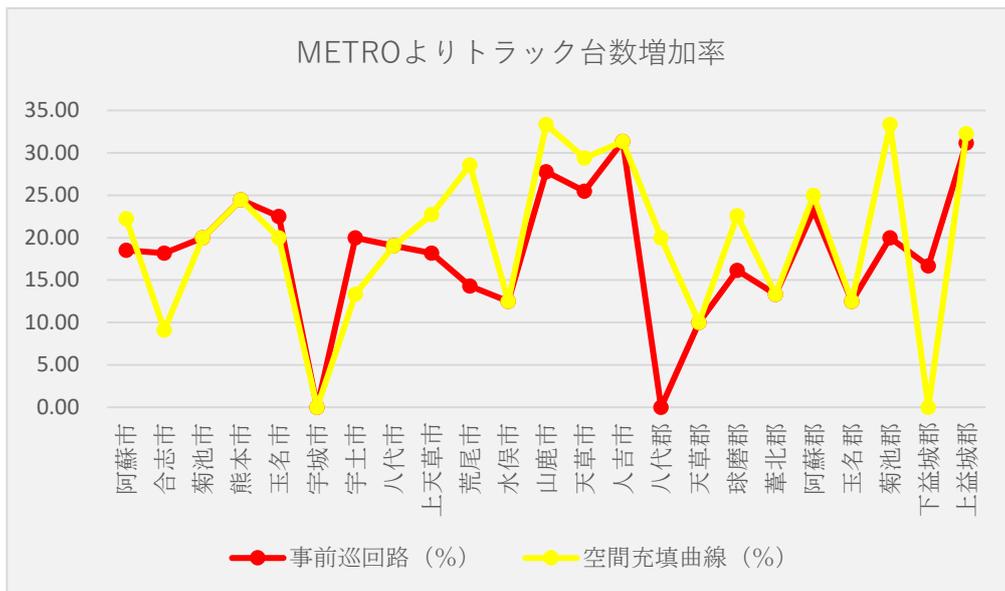


図 4.8 トラック台数増加率

総距離は METRO の解より，事前巡回路方策による配送では，平均で 15.27% 増加しており，空間充填曲線法の場合も 20.28% 増加しており，トラック台数のほうは METRO の解より，事前巡回路方策が平均で 18.06% 増し，空間充填曲線法の場合も 19.79% 増加した。

## 第5章 おわりに

### 5.1 結論

本研究では、避難所の情報と事前巡回路を組み合わせた情報の取り扱いや配送方法という事前巡回路方策を提案した。そして事前巡回路方策による配送と先行研究の空間充填曲線法による配送と配送計画最適化ソルバーによる配送、その三種類が比較を行った。実際のデータによる実験結果を考察し、図に表示した。大きな地域の事前巡回路を小規模な配送に用いると大きく悪い解が生じてしまっていた。事前巡回路方策と空間充填曲線法に優劣がないことがわかった。

### 5.2 今後の課題

今後の課題として挙げられるのは以下のとおりである。

1. 大きな地域の事前巡回路を小規模な配送に用いると大きく悪い解が生じてしまっていた、原因としては事前に巡回路の生成方法問題があると考えため、事前巡回路の生成方法を見直し、よりよい事前巡回路を生成する必要と考えている。
2. 地域区分の大きさを再考した実験と本州・九州などのさらに大きな規模の実験が必要と考える。

## 謝辞

本研究を遂行するにあたり、非常に多くの方々に深くご支援をいただきました。特に指導教官である久保幹雄教授には終始丁寧かつ熱心なご指導をいただき、感謝の念に堪えません。また、日常の議論を通じて多くの知識や示唆を頂いた流通設計研究室の皆様にも深く感謝致します。本当に有り難うございました。最後になりましたが、激励をいただいたたくさんの友人、同輩、後輩に感謝の意を表します。

## 参考文献

- [1] 久保幹雄, 橋本英樹, 人道支援ロジスティクス問題点と新たな提案Humanitarian Logistics Problematic Issues and New Proposals, スケジューリング・シンポジウム2016
- [2] John J. Bartholdi, III, Loren K. Platzman, R. Lee Collins, William H. Warden and III, A Minimal Technology Routing System for Meals on Wheels, *Interfaces*, Vol.13, No.3, pp.1-8 (1983)
- [3] John J. Bartholdi, III, Loren K. Platzman, Heuristics Based on Space Filling Curves for Combinatorial Problems in Euclidean Space, *Management Science*, Vol.34, No.3, pp.291-305 (1988)
- [4] John J. Bartholdi, III, A routing system based on space filling curves, (1995), <http://www2.isye.gatech.edu/~jjb/research/mow/mow.pdf>
- [5] 国土交通省 国土政策局 国土情報課, 国土数値情報 避難施設データ, <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-P20.html>
- [6] Project OSRM, Open Source Routing Machine, <http://project-osrm.org/>