

大規模被災地の復興過程における逐次バスネットワーク再編計算技術に関する研究



芝浦工業大学工学部 土木工学科 岩倉成志
前芝浦工業大学大学院 建設工学専攻 高根大毅

1

研究背景

東日本大震災により被害を受けた三陸地域では復興事業により**土地利用**や**人口移動**が急速に変化した



地震発生 仮設住宅建設 高台移転住宅 災害公営住宅

2011年 3月 2011年～2015年頃 2016年頃～現在

復興事業の変化に対応できるバスネットワークの構築は被災地の復興を**交通の側面**から進めていく上で喫緊の課題

2

問題点・目的

従来のバス路線計画

地方ではバス事業者の**経験則**の中で多くの意思決定

↓

土地利用や人口移動の変化に合わせて**論理的**にバスNWを再編することは困難

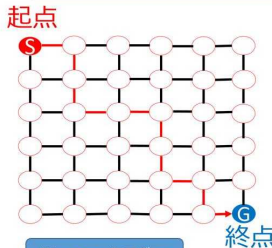
この問題に対処すべく・・・
社会ニーズに合致した新たな技術の提案したい

本研究の**目的**
時々刻々と変化する大規模被災地の復興状況に応じてバスNWの逐次再編を支援する**数理解析技術**の構築

3

研究目的を達成するために

ZDD（ゼロサプレス型二分決定グラフ）と呼ばれる技法を用いる
⇒ バスネットワーク上の全運行経路候補を高速で列挙する手法



起点 終点

例：5×5格子グラフ
起点から終点まで約126万通り

ZDDの利点

- ①何百万通りとある起終点間の運行経路候補を**短時間**で列挙
- ②運行経路候補の中から後述するバス事業者・利用者の評価関数により運行経路の**最適解・次善解**を抽出

↓

論理的にバスNWの再編を支援するモデル構築を試みる

4

本研究のプロセス

本研究では以下のステップでバスNW抽出を試みる

- Step1 事業者評価関数の構築**
複雑なバスルート設定の経験の多い大手バス会社を対象にバス事業者側の意思決定が反映された評価関数を設定
- Step2 利用者評価関数の構築**
宮古市を対象に、被災後の住民の外出行動が反映された交通機関選択モデル構築し、全候補バスルートを設定した時の利用人数の推計に用いる
- Step3 宮古市の復興過程に応じたバスNW抽出**
事業者・利用者評価関数を用いて復興過程に応じた最適解バスNW・次善解バスNW抽出

5

Step1 事業者評価関数の構築

◎バス事業者の意思決定を反映した評価関数

モデル構築の目的

バス路線の路線選定に関して**豊富な経験**を有する国際興業バス路線を対象に実際の**バスルート**を**再現**する**評価関数**を構築し、宮古市でのバスルート抽出の際に活用する

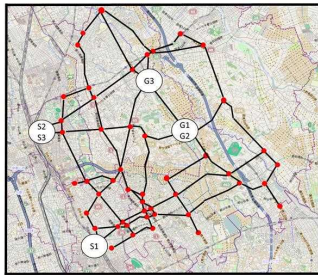
◎手順

- ① ZDDによる起終点間の全列挙計算
- ② 評価関数の構築
(バス事業者の意思決定に影響する説明変数を選定)
- ③ 評価関数のパラメータ推定

6

① ZDDによる全列挙計算

- 大宮地区のバスNWを対象とし
ZDDを用いてバス起終点間の運行経路候補を全列挙



全経路数（選択肢集合）
S1→G1：約420万通り
S2→G1：約350万通り

黒線：幹線道路（リンク）
赤点：交差点（ノード）
S1：路線1の起点
S2：路線2の起点
G1：路線1の終点

図 大宮・浦和地区内のリンクとノード

ZDDで列挙した全経路数を評価関数の**選択肢集合**に用いる

7

② 事業者評価関数の構築

- バス事業者側の視点**から評価関数を設定

評価関数の説明変数

- ① 潜在的利用者数 ⇒ 仮想的にバスルートを設定した場合のバス利用者数
- ② 営業距離 ⇒ 起終点間の距離
- ③ 渋滞距離 ⇒ 起終点間の渋滞
- ④ 右左折回数 ⇒ 起終点間の右左折回数

- ◎評価値を以下の数式で表現

$$V_{ij} = \theta_1 Q_{ij} + \theta_2 D_{ij} + \theta_3 C_{ij} + \theta_4 RL_{ij}$$

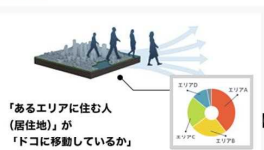
V_{ij} ：評価値 Q_{ij} ：潜在的利用者数 D_{ij} ：営業距離 C_{ij} ：渋滞距離
 RL_{ij} ：右左折回数 $\theta_1 \sim \theta_4$ ：パラメータ

8

8

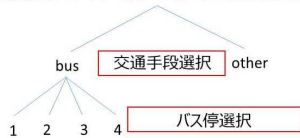
潜在的利用者数の推計方法

- 人数推計には500mメッシュ間の OD量をday-to-dayで把握できる「**モバイル空間統計**」を用いる



【出典】サーベイサチセンター
モバイル空間統計より

- 潜在的利用者数**を算出するための交通機関選択モデルの構築



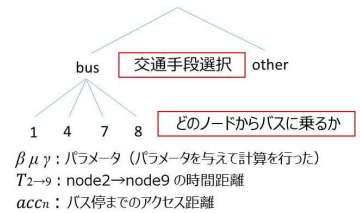
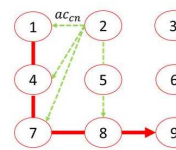
モバイル空間統計と交通機関選択モデルを用いて人数推計を行った

9

潜在的利用者数の推計方法

- ◎交通機関選択モデルを用いて潜在的利用者数を推計

(例) node2→9の移動を考える



β, μ, γ ：パラメータ（パラメータを与えて計算を行った）
 $T_{2 \rightarrow 9}$ ：node2→node9の時間距離
 $accn$ ：バス停までのアクセス距離

- ①Nested logit modelの効用関数
 $V_{bus} = \beta T_{2 \rightarrow 9} + \mu \ln \sum_{n=1}^4 e^{\gamma accn}$
- ②バス以外の交通手段で移動する人の効用式
 $V_{other} = \beta T_{2 \rightarrow 9}$
- ③バス路線の乗車確率
 $P_{bus} = \frac{e^{V_{bus}}}{e^{V_{bus}} + e^{V_{other}}}$
- ④潜在的利用者数(node2→9)
 $Q_{bus} = Q \times P_{bus}$

10

10

③ 事業者評価関数 パラメータ推定

計算負荷の都合上、全選択肢集合の中から潜在的利用者数の多い上位50通りと100通りを抽出させそれぞれのケースにおいてパラメータ推定を行う

説明変数	選択肢集合50 (model50)		選択肢集合100 (model100)	
	パラメータ	t 値	パラメータ	t 値
潜在的利用者数	0.00027	1.06	0.00024	1.45
営業距離	-0.636	-9.19	-0.587	-9.72
渋滞距離	-0.032	-3.74	-0.029	-7.33
右左折回数	-0.563	-7.43	-0.522	-7.21
尤度比	0.284		0.279	
サンプル数	43		43	

- ・各ケースとも説明変数の符号の整合性を確認
- ・国際興業㈱のヒアリング調査から選定した説明変数・パラメータの感度の**妥当性を確認**

構築したモデルをStep3の宮古市での**バスルート抽出**に活用

11

11

分析結果 -バスルート抽出結果-

- ◎大宮地区に運行されている3路線を同時推定
⇒バスネットワーク全体の再現性を俯瞰的に考察

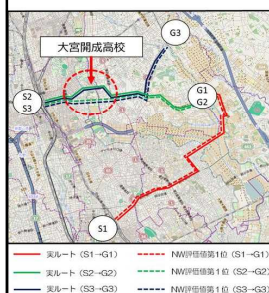


図 バスルート抽出結果

- 同時推定方法（下図の数字は評価値）

	S1→G1	S2→G2	S3→G3	評価値合計
1位	-1	1	-1	-1
2位	-1.5	-0.5	-2	-4
3位	-2	-1	-3	-6

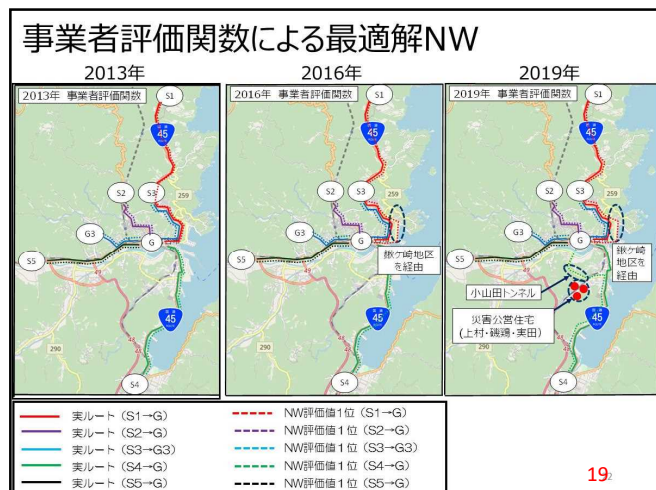
3路線の評価関数の**評価値合計が最大**となる時のバスネットワークを左図に図示

実ルートとの乖離分析を行う

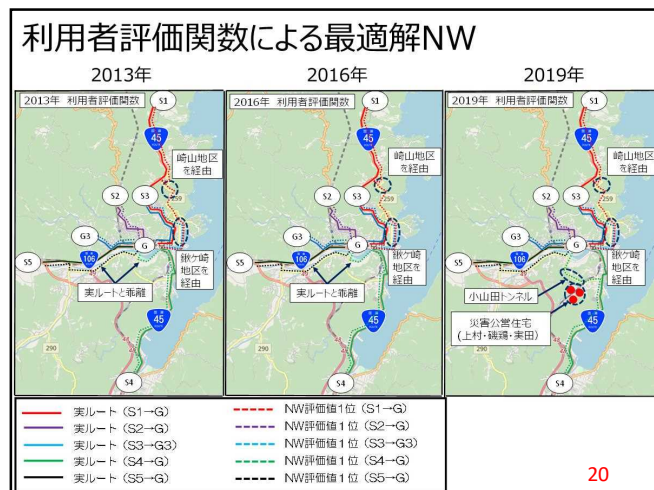
実際の運行経路とほぼ重複し一定の再現精度を得られた

12

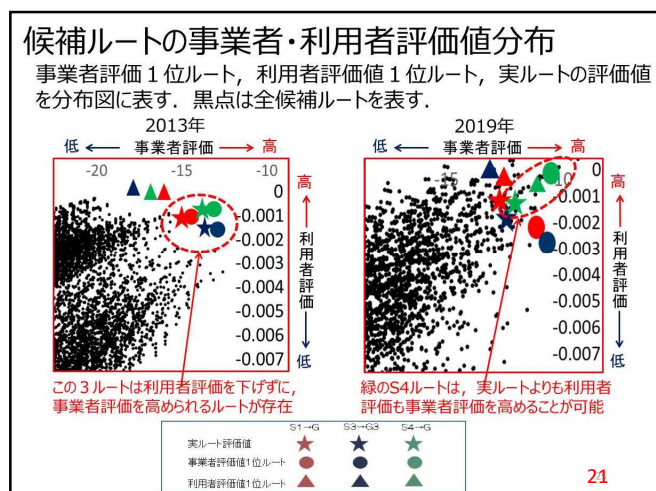
12



19



20



21

候補ルートの事業者・利用者評価値の順位

S1 全候補ルート数37130

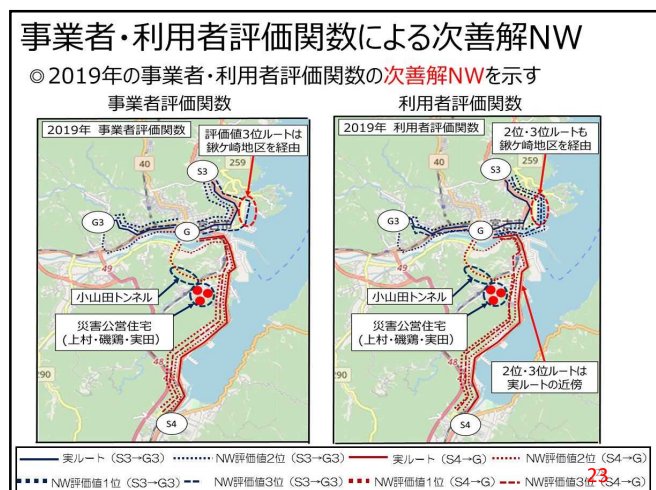
S3 全候補ルート数74890

S4 全候補ルート数149600

年	実ルート	事業者順位	利用者順位	S3→G3	事業者順位	利用者順位	S4→G	事業者順位	利用者順位
2013年	★	2	20	★	3	29	★	2	11
	●	1	20	●	1	29	●	1	11
	▲	24	1	▲	40	1	▲	34	1
2016年	★	28	20	★	22	30	★	18	22
	●	1	31	●	1	32	●	1	23
	▲	19	1	▲	44	1	▲	29	1
2019年	★	19	25	★	16	33	★	13	27
	●	1	35	●	1	40	●	1	7
	▲	16	1	▲	22	1	▲	5	1

22

22



23

まとめ 今日的課題の解決に役立つ成果

本研究の知見

時々刻々と変化する宮古市の復興過程に応じてバスNWの再編を支援するモデルを構築した。

↓

復興事業の進展が著しい地区を経由するルートが推計され、土地利用や人口移動に対応できるNW抽出がおこなえた。

今後の課題

- 抽出したルートの時刻表決定の検討について（沿線の病院の開院時刻や学校の始業時間に合わせるなど）
- ルート設定によって異なる収支採算性の分析
- 今後の災害（南海トラフなど）に活用するためのアプリケーションの開発

24

24