

2023年・夏の学校・話題提供

2023年9月18日

# 離散選択モデルとその周辺



東京海洋大学・流通情報工学科  
兵藤 哲朗

## **略歴:**

**1961年:東京生まれ**

**1980年:東京私立駒場東邦高校卒業**

**1984年:東京工業大学土木工学科卒業**

**1986年:東京工業大学修士課程修了**

**1989年:東京工業大学博士課程修了**

**1989年:東京理科大学土木工学科助手**

**1991年:東京工業大学土木工学科助手**

**1993年:東京商船大学助教授**

**2003年:東京海洋大学助教授(合併による)**

**2007年:東京海洋大学教授**

**2021年:東京海洋大学海洋科学技術研究科長**

**土木計画学研究委員会 幹事長・委員長も経験**

## 卒論～修論まで:

- 卒論時(1983年度), 東工大・森地研は「非集計モデル」のメッカ.
- 1983年土木学会全国大会(横浜・関東学院大学)で非集計モデルのレビュー集大成を公開(D2の屋井)
- そのため, 8月に研究室主要メンバーで手分けして文献レビュー
  - 兵藤の卒論は非集計でなかったので「蚊帳の外」
- 10月になり, 非集計担当で大学院進学も決まっていたK君が公務員試験上位合格で, 急遽就職に
  - 修士進学は兵藤だけだったので, 卒論も非集計テーマに変更 😞

## 卒論～修論まで:

- 卒論は前橋・高崎ミニPTによる非集計モデルのLOS自動作成システムを利した, LOS精度とモデル精度の関連性検討
- ミニPTは10月調査. 6,000サンプルのデータ打ち込みも研究室バイトで対応. 年内にデータ整備間に合わず.
- LOS作成は, ODの緯度・経度を入力すると, バス路線と道路の最短経路が出力されるシステム.
- 半透明のA1サイズ方眼紙で, バス停と道路ノードを拾い上げる原始的な方法.
- 100m, 250m, 500m各メッシュで作成したLOSと推定非集計手段選択MNLパラメータ精度の比較検討

## 卒論～修論まで:

- 兵藤はLOSのデータ作成で力尽き, 実質的な分析は修士1年生, 2年生が担当
- ということで修士に進学し, 非集計モデルについて真面目に勉強を始める
- 修士1年の1月は屋井博士論文の清書係で1章分を担当 + BFGSによる新規の効用関数推定を経験
- 身近に博士学生の実態見聞 → 博士課程に違和感なし
- 修論は前橋・高崎ミニPTデータを用いた目的地選択MNLの特性分析
- 学会発表には至らず

# 博士論文まで:

- 博士課程時代は「暗黒の時代」  
→ 研究室の諸々のプロジェクトに関わらないフリーランス

『はてしない物語』 ミヒャエル・エンデ作

「どこからはじめればよいのですか？」アトレーユがたずねた。  
「あらゆるところから、そして、どこでもないところからだ。」  
カイロンが答えた。

- 暗中模索するも、博士2年前半まで殆ど成果はナシ
- “Advanced Econometrics” / Takeshi Amemiya  
を枕にするほど熟読  
→ 何とか、「不均衡分析」, 「Discrete Duration  
モデル」に新規性を見いだす(博士3年4月)

ADVANCED  
ECONOMETRICS

Takeshi Amemiya

## 博士論文まで:

- 最終的に, 自分の得意な研究スタイルを見いだす  
→「手元のデータを解析」→「新しい方法論を思いつく」
- 博士課程中の需要予測バイトは勉強になった  
→山形新幹線のNL, 滋賀空港の空港選択MNL, 首都圏ヘリコプター需要, 空港容量制約を考慮した九州国際空港需要予測システムの開発(東工大助手時代) などなど  
→需要予測作業は, output をイメージして, モデル構築やデータの集計作業を行うのが効率的なことを知る
- MNLで良い結果を得るヒケツも習得 😊  
→利用可能性操作, LOS精度up, 共通変数をバラす…

# 博士論文：モデル構造変化を前提とした交通需要推計方法

## 第3章 モデル構造の時間的变化を伴う集計型交通需要モデル

### 3.2 集計型モデルにおけるパラメータ推定方法

### 3.3 集計ロジットモデルを前提としたパラメータ推定方法

## 第4章 需要主体の時間的行動変化を考慮した**非集計型**交通需要モデル

### 4.2 時間軸を取り扱う個人行動モデル適用性

### 4.3 離散的行動間隔を扱う交通選択モデルの検討

### 4.4 **連続的行動間隔を扱う交通選択モデルの開発**

## 第5章 供給条件によるモデル構造変化を考慮した交通需要モデル

### 5.2 交通需要モデルにおいて考慮すべき供給条件

### 5.3 需要量と供給量との相互関数関係を考慮したモデルの開発

### 5.4 供給条件を外生的に捉えた交通需要推計方法

## 第6章 モデル構造変化を前提とした交通需要推計方法の適用可能性

→実は博士論文の「非集計」は4章のみ

## AMEMIYA本の 11.2.4 “Discrete Observations”

Binary choiceにおいて,  $\frac{dP_{12}}{dt} = P_{11}\lambda_{12} - P_{12}\lambda_{21}$  を整理すると,

$$\begin{bmatrix} \frac{dP_{11}}{dt} & \frac{dP_{21}}{dt} \\ \frac{dP_{12}}{dt} & \frac{dP_{22}}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\lambda_{12} & \lambda_{21} \\ \lambda_{12} & -\lambda_{21} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{11} & P_{21} \\ P_{12} & P_{22} \end{bmatrix}$$

となる. この微分方程式を解くと以下を得る.

$$P_{11n}(t) = 1 - \gamma_n + \gamma_n \exp[-\delta_n t]$$

$$P_{12n}(t) = \gamma_n - \gamma_n \exp[-\delta_n t]$$

$$P_{21n}(t) = 1 - \gamma_n + (1 - \gamma_n) \exp[-\delta_n t]$$

$$P_{22n}(t) = \gamma_n + (1 - \gamma_n) \exp[-\delta_n t]$$

ただし,  $\gamma_n = \lambda_{12n}/(\lambda_{12n} + \lambda_{21n})$ ,  $\delta_n = \lambda_{12n} + \lambda_{21n}$

AMEMIYA本では  $\lambda$  はスカラーだが、これを効用関数にする  
イベント前( - )後( + )の2つの選択肢の効用差を仮定する

$$\lambda_{21n} = \frac{e^{\Delta V_n^+}}{e^{\Delta V_n^-} + e^{\Delta V_n^+}} \times \delta_n$$

$$\Delta V_n^- = V_{1n}^- - V_{2n}^-$$

$$\Delta V_n^+ = V_{1n}^+ - V_{2n}^+$$

たとえば,  $P_{11n}(t)$  は以下で与えられる.

$$P_{11n}(t) = 1 - \frac{e^{\Delta V_n^-}}{e^{\Delta V_n^-} + e^{\Delta V_n^+}} + \frac{e^{\Delta V_n^-}}{e^{\Delta V_n^-} + e^{\Delta V_n^+}} \exp[-\delta_n t]$$

# ケーススタディは、森地研が行った、1986年9月供用開始した中央道・長坂ICの開業前後の、「一般道vs.高速」利用アンケート調査[記憶パネルデータ](1987年12月実施)。

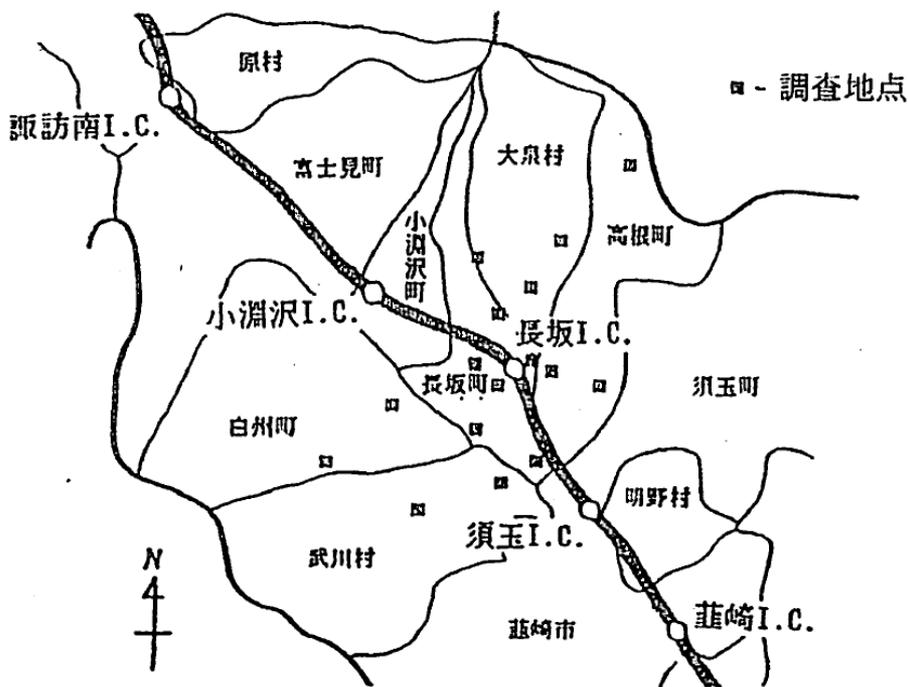


図4-2 調査対象地域

表4-3 各入式におけるモデル推計結果 ( )内t値

説明変数	1)モデル	2)モデル	3)モデル
所要時間 (分)[事前 共通]			0.58151 (0.83)
所要時間 (分)[事後 共通]	-0.27400 (2.78)		-0.23114 (2.38)
所要時間 (分)[事前 高速]		-0.14069 (1.92)	
所要時間 (分)[事後 高速]		0.00462 (0.08)	
20号までの距離 (Km)[事後 一般]	-0.29300 (1.89)	-0.57635 (2.24)	-0.27268 (1.81)
定数項 [事後 高速]	-8.2414 (2.89)	-12.600 (2.29)	-7.6393 (2.90)
時間スケール パラメータ(月)	0.065867 (3.24)	0.051282 (3.47)	0.068100 (3.33)
尤度比	0.2609	0.1500	0.2659
サンプル数	146	146	146

## モデルの特徴・反省：

- 時間変化を伴う選択確率の表現の一手段として有効
- 推定パラメータのt値が掲載されているので、FORTRANで1階微分，2階微分を伴うプログラムを作成したはず
- 1989年7月の京都大学における行動モデルセミナーで発表するも，journalには投稿せず 😞（『高速道路と自動車』1990年9月号には掲載）  
→常にチャレンジを！ Go for Broke！
- コロナ禍における「在宅勤務－対面勤務」選択の時間変化を表現可能か？
- R + maxLik で簡単にパラメータ推定可能と思われる

# 観光周遊モデルの開発：（東工大助手時代）

- 1992年11月 土木計画学研究・論文集No.10  
森地・兵藤・岡本：時間軸を考慮した観光周遊行動に関する研究
- 「高速道路が整備されると、近場の観光地は需要増だが滞在時間が短くなる」という現象を房総半島を例に分析
- わが国で初めてに近いアクティビティモデル（？）
- 前述のdiscrete durationモデルは岡本直久（筑波大学教授）卒論，この観光周遊モデルも岡本博士論文の一部  
→「研究室にころがっているデータからモデルを発想」  
という自分の研究スタイルを自覚することに

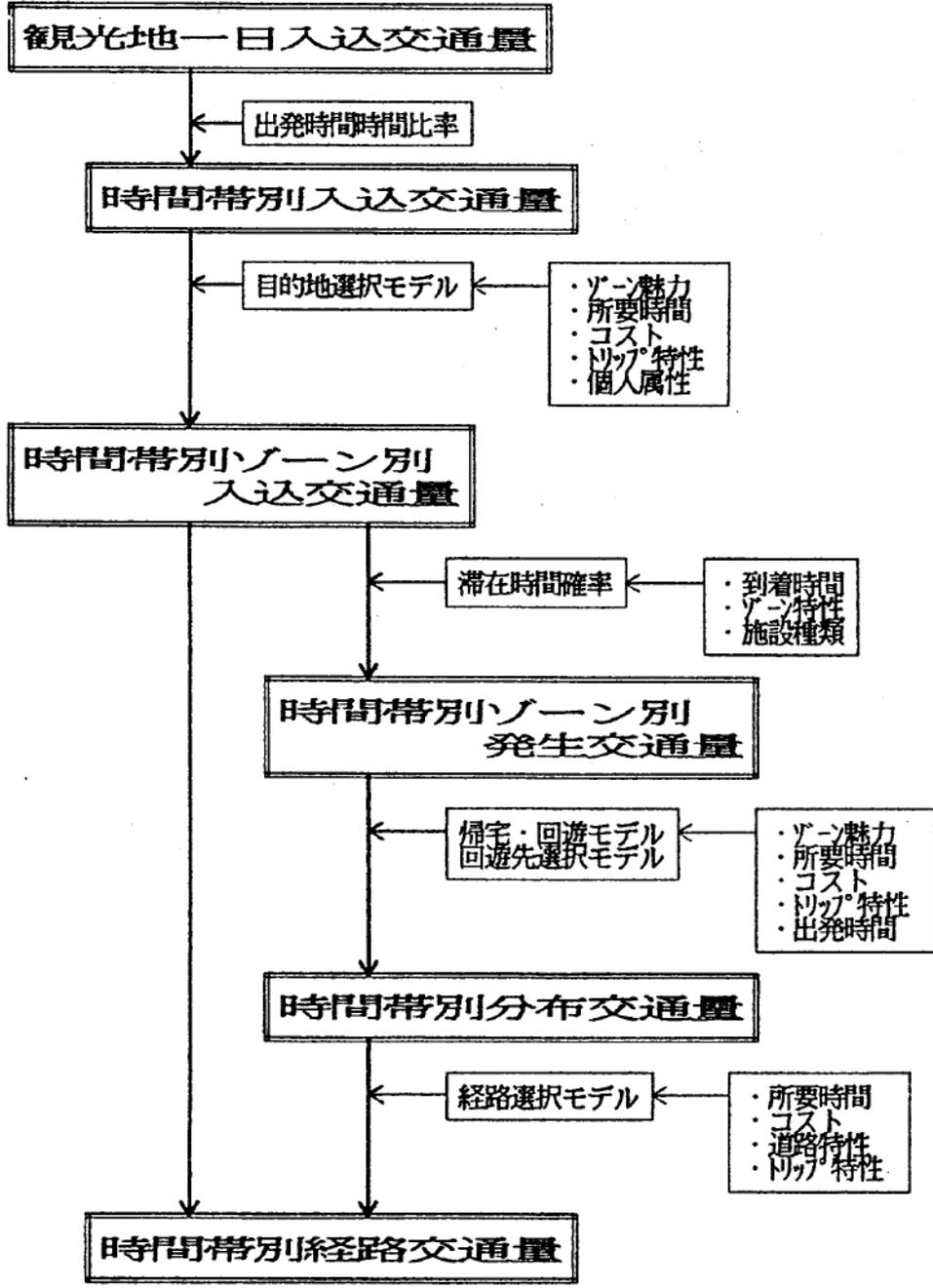


図-6 観光地内経路交通量推計フロー

- 目的地選択モデルはMNL
- 滞在時間はdurationモデル
- 経路選択モデルはMNLで目的地選択モデルのlogsum形成

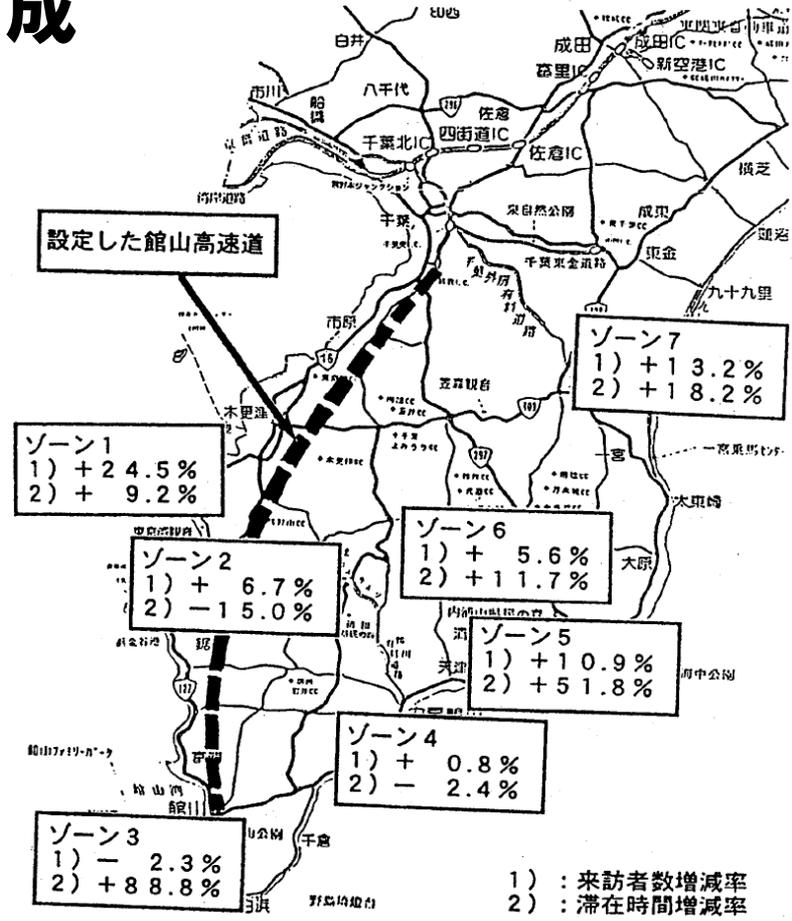


図-7 各ゾーンの来訪者数・滞在時間増減率

## **東京商船大学に異動（1993）→物流研究の開始：**

- ・高橋洋二，苦瀬博仁から物流研究の手ほどきを受ける**
- ・幸い，両先生とも東京都市圏物資流動調査の委員長**

## **UC Berkeleyへの文科省在外研究の機会を得る （1997年8月～1998年7月）：**

- ・アメリカにおける多様かつ予算ルールの明確な交通計画  
のあり方に感心  
→NPOの役割，MPOの情報発信能力などに関心を持つ**

# ・雑文を書く面白さに目覚める

## NPOとMPO, サンフランシスコ訴訟における「誘発需要」問題, 環状道路の計画思想…などなど

### 点描・アメリカ交通計画

1997～1998

平成 11 年 8 月

東京商船大学  
兵藤 哲朗

1. アメリカにおける交通調査の新展開  
・計画・交通研究会会報、1998年1月号添付  
・運輸政策研究、Vol.2, No.1, pp.26-31、1999年
2. 米国交通需要予測手法のターニングポイント —サンフランシスコ訴訟がのこしたものの—  
・計画・交通研究会会報、1998年3月号添付  
・運輸政策研究、Vol.1, No.1, pp.77-80、1998年
3. MPOによる米国交通計画について  
・計画・交通研究会会報、1998年5月号添付
4. カリフォルニアにおける交通環境政策について  
・計画・交通研究会会報、1998年5月号添付  
・交通工学、Vol.33, 増刊号, pp.71-76、1998年
5. アメリカにおけるロードプライシング —pros and cons—  
・計画・交通研究会会報、1998年7月号添付  
・運輸政策研究、Vol.1, No.2, pp.63-66、1998年
6. アメリカ西海岸諸都市における自転車道計画  
・交通工学、Vol.33, No.5, pp.63-70、1998年
7. アメリカにおける環状道路 (Beltways) の形成  
・世界の道路行政に関する動向調査 —欧米諸都市の環状道路報告書—、建設省道路局企画課道路経済調査室、1999年

- **日産交通研究所の羽藤研究員の訪問(1997年8月)**  
→「**研究所はやめて愛媛大の助手になります!**」

- **Mixed Logitモデルとの出会い(1997年12月)**

Date: Sat, 07 Feb 1998 17:32:33 +0900

To: hyodo@netws1.ipc.tosho-u.ac.jp

Subject: Re: Fax of Mixed Logit

**坂井@東工大屋井研です**

**現在2/10の修論発表会、修論提出に追われている毎日です。**

**先日のFAXのご返事ありがとうございました。**

**多少random parameter や Nested Logitの表現が可能であることを現在の私の知識で以下にまとめてみました。何か間違いがありましたらご指摘していただけると幸いです。**

=====

**坂井康一 (Koichi SAKAI)**

**東京工業大学理工学研究科土木工学専攻**

**修士2年 屋井研究室**

=====

## □Mixed Logitモデルの研究展開:

- 1997年12月:初めてMXLを知る. NLとの比較などをGAUSSで検討してみる
- 1998年1月:TRBで屋井先生と議論. 坂井修論のサポートを依頼される(GHK推定によるMNPとの比較).
- 1999年9月:土木学会第54回年次学術講演会:  
兵藤: Mixed Logitモデルの適用可能性に関する考察が最初の国内論文
- 1999年7月に山梨大学と勉強会を開催
- 2000年10月:土木学会論文集No.660/IV-49:  
「Mixed Logitモデルの汎用性に着目した特性比較分析」掲載(投稿は1999年8月)

# ・1999年7月の山梨大学勉強会

## Mixed Logit モデルと仲間たち

東京商船大学

兵藤 哲朗

### 1. Mixed Logit は万能薬か？

「全てのランダム効用モデルは Mixed Logit モデルで近似できる」(原文は”any random utility model can be approximated arbitrarily closed by a mixed logit with an error-components structure and appropriate choice of variables and density function”) <sup>1)</sup> と記されている通り、Mixed Logit モデルは極めて柔軟に誤差構造を表現し得る離散選択モデルである。加えて、計算機速度の飛躍的な向上や、Mixed Logit 対応ソフトの普及 <sup>2)3)</sup> に伴い、その適用場面やモデル特性を把握する必要性がわが国でも高まっていると考えられる。本研究では Mixed Logit モデルの適用可能性について関連モデルとの比較分析を試み、簡単な事例分析を通じ、その特性を示す。

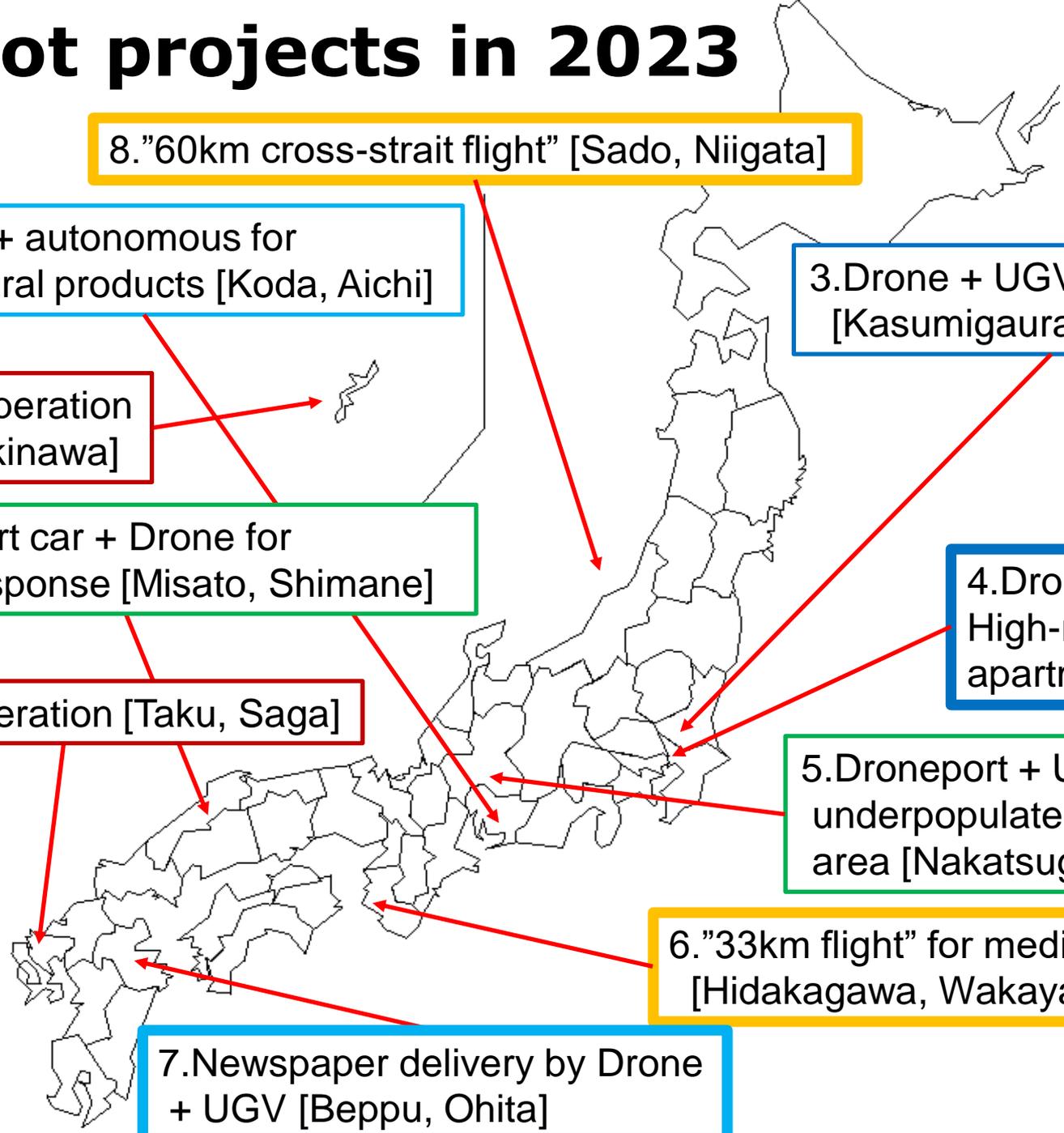
## □土木学会論文集のMixed Logitモデル:

- NLとの誤差構造比較
- Mass Pointモデルとの推定精度比較(山梨大学の西井先生に色々教えてもらう)
- パラメータ標準偏差から時間価値分布を伴うモデル検討  
→Probitの "Taste Variation" モデルとの比較
- RP/SP誤差相関モデルへの展開

などなど、ありとあらゆる「Mixed Logitモデルと仲間たち」を比較検討した論文

当時はすべてのコードはGAUSSで作成していた  
→現存していない...

# 10 pilot projects in 2023



8."60km cross-strait flight" [Sado, Niigata]

9.Drone + autonomous for agricultural products [Koda, Aichi]

3.Drone + UGV at campsite [Kasumigaura, Ibaraki]

2.Level 4 operation [Kume, Okinawa]

10.Droneport car + Drone for disaster response [Misato, Shimane]

4.Drone + UGV at High-rise apartment [Chiba]

1.Level 4 operation [Taku, Saga]

5.Droneport + UGV for underpopulated area [Nakatsugawa, Gifu]

6."33km flight" for medical products [Hidakagawa, Wakayama]

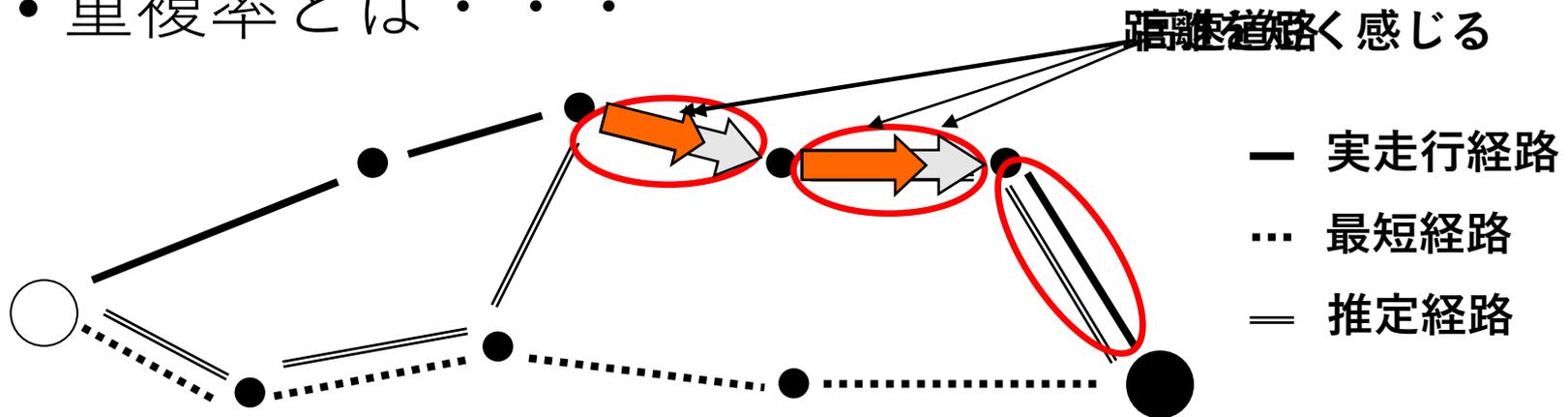
7.Newspaper delivery by Drone + UGV [Beppu, Ohita]

# 重複率最大化モデルの開発：

- 渡米の1年前，1997年度にIBS鈴木紀一に誘われて自転車道研究を開始
- 当時は自転車研究は駐輪場問題が中心で，「自転車道ネットワーク」+「車道走行を前提とした自転車分析」は皆無
- 久留米市の連続立体プロジェクトに合わせて自転車道を建設する構想があり，その分析ツールとして，「自転車経路選択モデル」が必要となった
- 都市内の自転車経路は選択肢数が無限にある  
→ 選択肢集合を扱わない「重複率最大化モデル」を新たに開発

# 重複率最大化モデル

- 重複率とは・・・



全てのリンク長を1とすると

$$\frac{[\text{重複する経路長}]}{[\text{実走行経路長}]} = \frac{3}{5} = 0.60$$

距離最小となる経路推定

費用最小となる経路推定

# 重複率最大化モデル

- 認識距離の定式化

走行環境によって運転者が認識するであろう経路距離  
走行環境の影響で距離を長く感じたり、短く感じたりすると仮定する

$l_a^*(\beta) = l_a \cdot \beta_1^{z_1} \cdot \beta_2^{z_2}$

80[m] = 100[m] × 0.8<sup>1</sup> × 0.6<sup>0</sup>

$l_a^*$  : 認識距離  
 $l_a$  : 実際の経路距離  
 $\beta_k$  : パラメータ  
 $z_k$  : ダミー変数 (0または1)

認識距離 : 80m

➤ Maximum Overlapping Ratio (MOR) Model

Weighted Overlapping Ratio: (Objective Function)

**Maximize**  $D(\theta) = \frac{\sum_n \sum_a \delta_{na} \cdot \delta_{na}^*(\theta) \cdot l_a}{\sum_n X_n}$  ← **MOR**

- $D(\theta)$  : Overlapping Ratio ( $0 \leq D_n(\theta) \leq 1$ )
- $\delta_{na} \cdot \delta_{na}^*(\theta) \cdot l_a$  : Overlapped distance between estimated path & actual path
- $\sum_n X_n$  : Actual distance

- **交通工学：1998年9月号：鈴木紀一・高橋勝実・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」で初公開**
- **3つの鉄道駅選択モデルの「実距離」の代わりに推定された認識距離を用いる。**

$$l_a^* = l_a \times 0.895^{Z_{a1}} \times 0.895^{Z_{a2}}$$

$Z_{a1}$ ：歩道ダミー， $Z_{a2}$ ：幅員25m以上ダミー

表-5 駅選択モデルパラメータ推定結果( )内：t 値

- **最短距離を用いたモデルに比して著しく尤度比の高い結果が得られた**
- **1999年度交通工学研究会論文賞を受賞 😊**  
→ 一時期は「自転車研究者」とみなされていました

変数名	認識距離モデル	実距離モデル
認識距離の最短距離(m)	-0.00356 (-7.5072)	—
実距離の最短距離(m)	—	0.02116 (0.1283)
花畑駐輪場逆ダミー	-1.710 (-2.2285)	-2.647 (-3.5891)
試験場前駐輪場逆ダミー	-2.101 (-2.9034)	-1.831 (-3.4102)
西鉄久留米駅定数項	2.663 (5.2098)	1.305 (4.6297)
花畑駅定数項	0.606 (1.2656)	0.567 (1.7399)
サンプル数	252	252
尤度比	0.3876	0.1078
的中率(%)	80.16	69.05

# 重複率最大化モデルの展開:

- 1997年当時は3つ以上の変数のモデルはFORTRANで組んだ, GA(genetic algorithm)を用いていた  
→2016年に差分進化(Differential Evolution, DE)の適用性が高いことに気づく→Recursive Logitとの比較
- 2003年度の第4回東京都市圏物資流動調査で,トラックドライバー約600名が地図への選択経路記入調査  
→このデータを用いた経路選択モデル検討を依頼される
- 2005年度の松橋信幸修論で, 重複率最大化モデルに時間価値を導入可能なことに気づく

# 重複率最大化モデル

- 認識一般化費用の定式化

走行環境によって運転者が認識するであろう費用  
走行環境により費用を多く感じたり、少なく感じたりすると仮定する

認識距離

一般化費用  
実際の距離

$$l_a^*(\beta) = l_a \left( \beta_1^{Z_1}, \beta_2^{Z_2} \right)$$

$GC_a^*$  : 認識一般化費用

$Cost_a$  : 走行時の固定費用

$Time_a$  : リンク走行時間

$\omega$  : 時間価値

$\beta_k$  : パラメータ

$Z_k$  : ダミー変数

# 重複率最大化モデル

- 重複率の定式化

$$D(\omega, \beta) = \frac{\sum^n \sum^a \delta_{na} \cdot \delta_{na}^*(\omega, \beta) \cdot l_a}{\sum^n X_n}$$

- $D(\omega, \beta)$  : 重複率
- $\delta_{na} \cdot \delta_{na}^*(\omega, \beta) \cdot l_a$  : 推定経路と重複した経路長
- $X_n$  : 実走行経路長

# パラメータ推定結果

- 認識一般化費用を用いた推定

初期重複率	0.58158
時間価値 (円/分)	109

	ダミー条件	パラメータ値	重複率 (初期重複率)
推定 結果①	時間価値 (円/分)	102	0.62204
	高速道路	0.8	(0.58158)
推定 結果②	時間価値 (円/分)	116	0.61081
	車線数4車線以上	0.8	(0.58158)
推定 結果③	時間価値 (円/分)	115	0.61081
	重さ指定道路	0.7~0.8	(0.58158)
推定 結果④	時間価値 (円/分)	112	0.62648
	高さ指定道路	0.9	(0.58158)
推定 結果 ⑤	時間価値 (円/分)	96.88	0.62104
	高速道路	0.8719	(0.58158)
	車線数4車線以上	0.2484	
推定 結果 ⑥	時間価値 (円/分)	75.00	0.66506
	重さ指定道路	0.5594	(0.58158)
	高さ指定道路	0.7891	

山梨大学  
夏季勉強会

交通行動モデルとその周辺

2003年7月27日

東京商船大学  
兵藤哲朗

2003年10月より

東京海洋大学

Tokyo University of Marine Science and Technology

# コンテンツ

- 1) 交通行動分析と需要予測批判
- 2) 交通行動分析の展開・方向性 私見
- 3) 交通行動分析と途上国交通

A photograph of the Burj Al Arab hotel in Dubai, United Arab Emirates. The building is a white, sail-shaped skyscraper with a distinctive curved facade and a tall spire at the top. It is situated on a small artificial island in the turquoise waters of the Persian Gulf. The sky is overcast with grey clouds. In the background, a low-lying cityscape is visible on the horizon.

# 公的大規模調査と行動モデルの役割

東京海洋大学  
兵藤 哲朗

2005年8月12日

## 2005年は調査の当たり年...

### 兵藤の関わっている調査:

- ①2005道路交通センサス
- ②2005航空旅客・貨物動態調査
- ③2005幹線旅客純流動調査
- ④観光交通調査の新展開
- ⑤2005物流センサス
- ⑥2003東京都市圏物資流動調査
- ⑦2005大都市交通センサス
- ⑧JICA 11都市のPTデータベースシステム構築
- ⑨アジアRegional Transportation Surveyデータベースシステム

これらの簡単な話題提供と、**行動モデルへの期待・課題**

# 公的大規模調査と行動モデルの役割

その後

東京海洋大学  
兵藤 哲朗

2007年9月20日

2006年度 夏の学校（名古屋大学）

# 道路ネットワーク上の経路選 択モデルについて

東京海洋大学  
兵藤 哲朗

2006年8月10日

交通計画学における「二大」研究体系（ちょっと古いが…）

$$P_i = \frac{e^{V_i}}{\sum_j e^{V_j}}$$

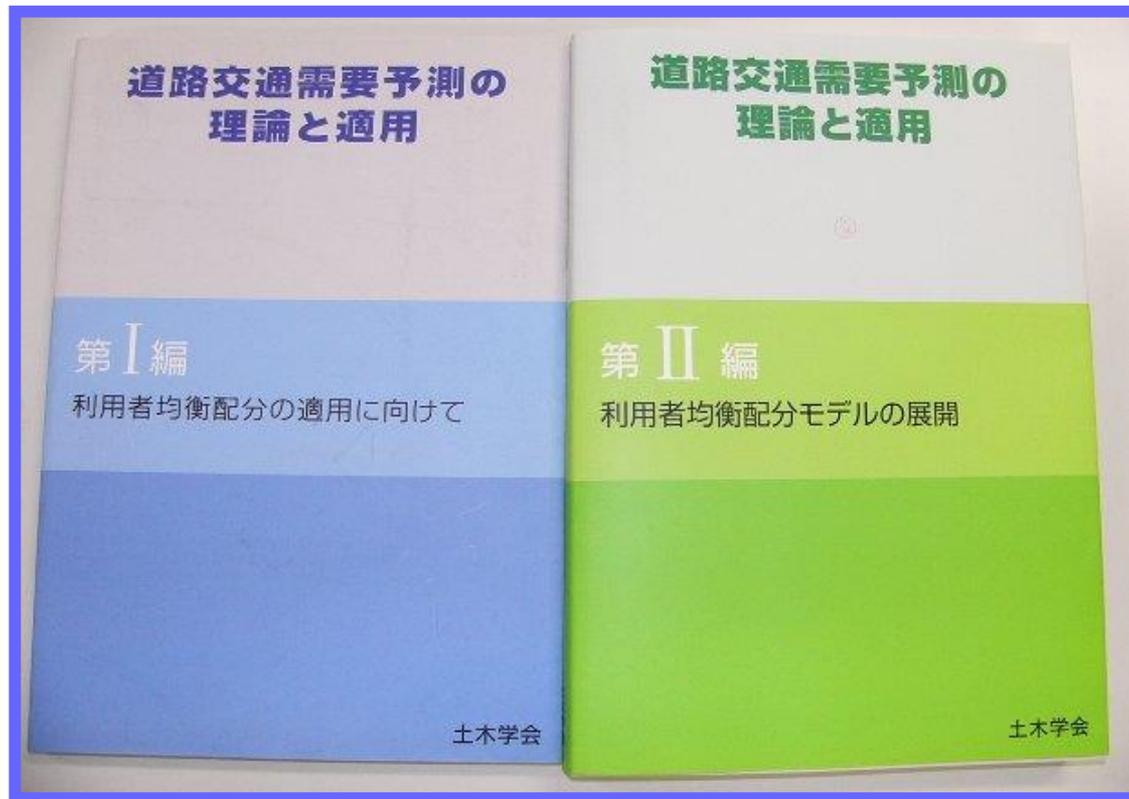
交通行動分析（非集計モデル）

- ・ 回帰モデル
- ・ 実データへのfitness
- ・ 需要予測
- ・ descriptive (inductive)
  
- ・ 関東？

$$Z = \sum_a \int_0^{q_a} t_a(x) dx$$

ネットワーク分析（配分モデル）

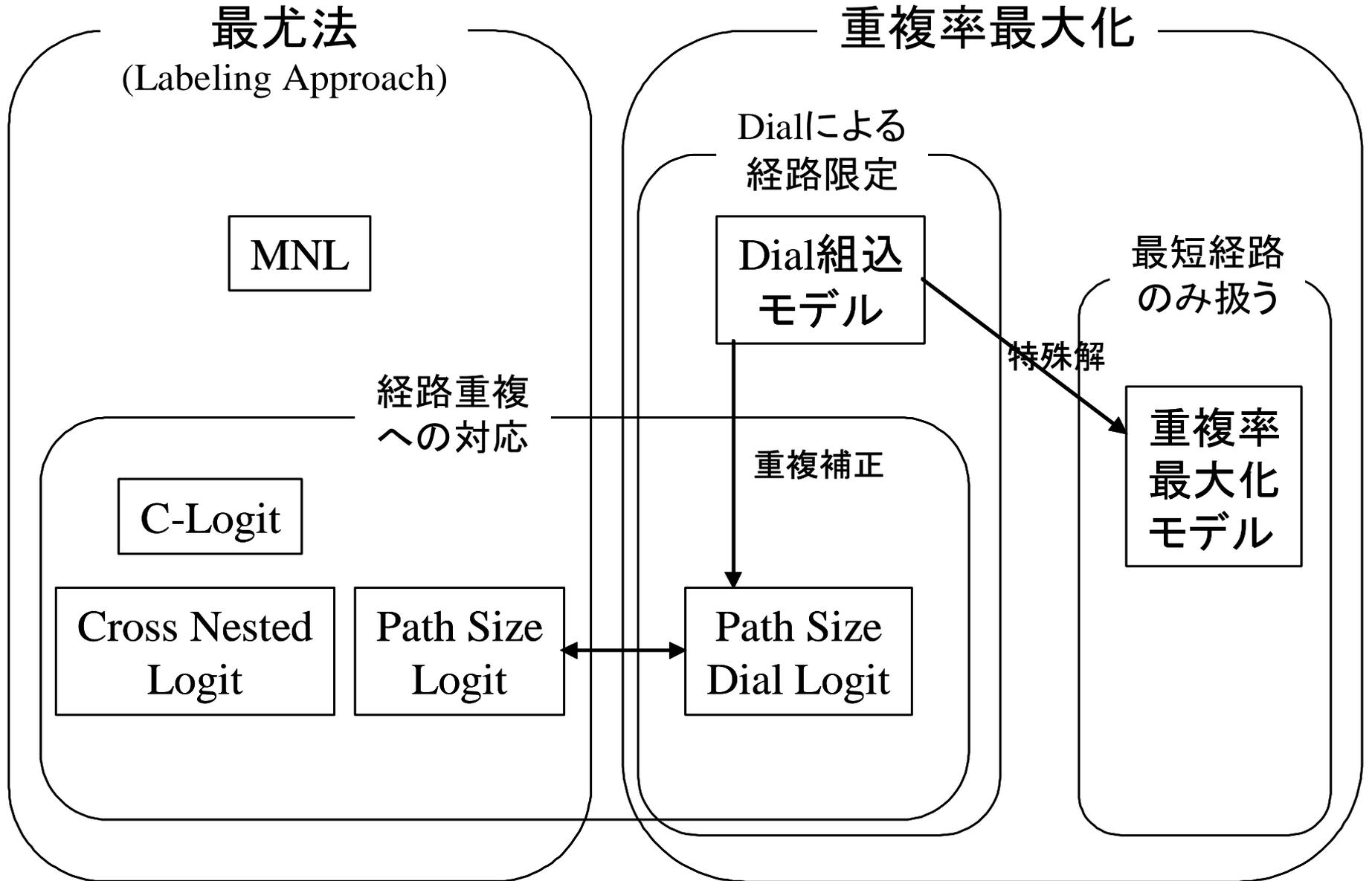
- ・ 最適化モデル
- ・ 美しい理論
- ・ 仮想ネットでOK
- ・ prescriptive
  
- ・ 関西（中京）？



ネットワーク分析は、実用書の登場もあり、  
適用の道筋は整理されてきた

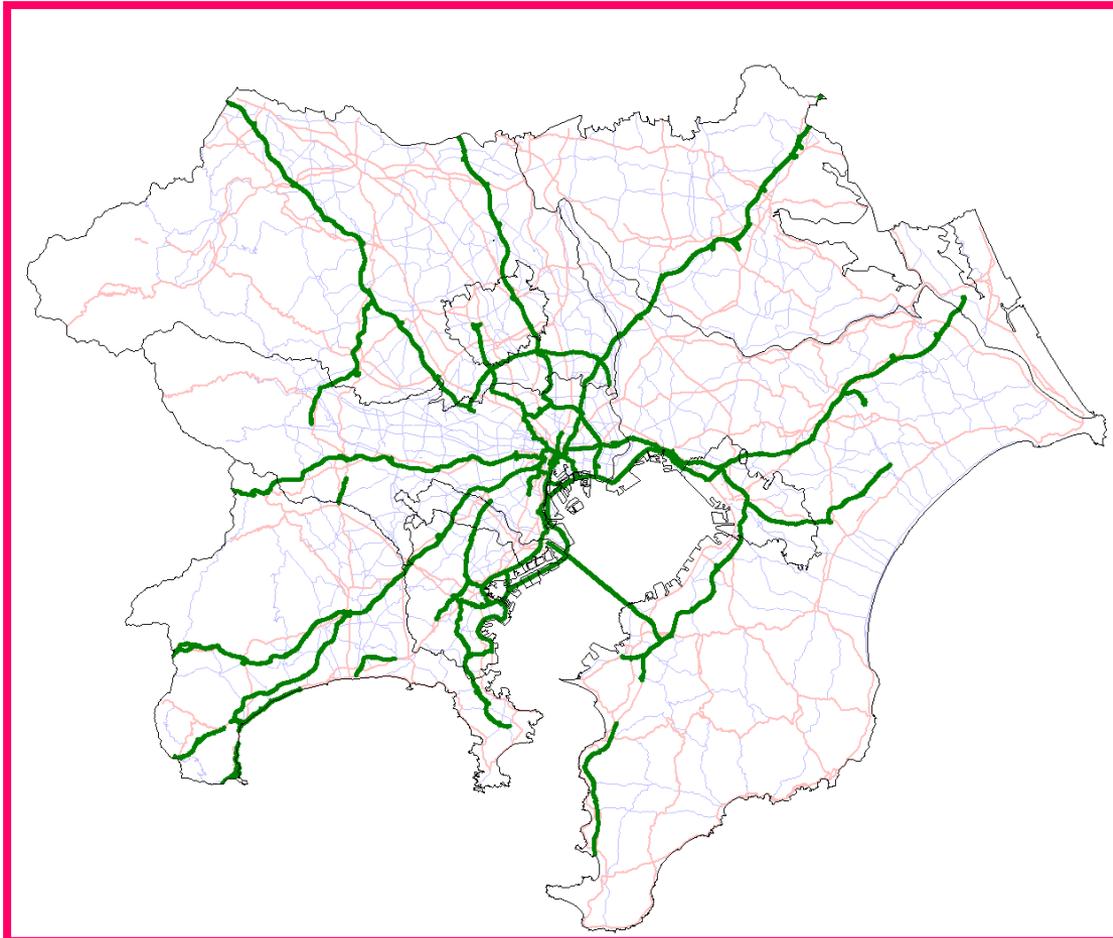
→その範囲外にある、「ネットワーク」と「行動分析」の接点  
→「ネットワーク経路の扱い」

# 本稿で登場するモデル群

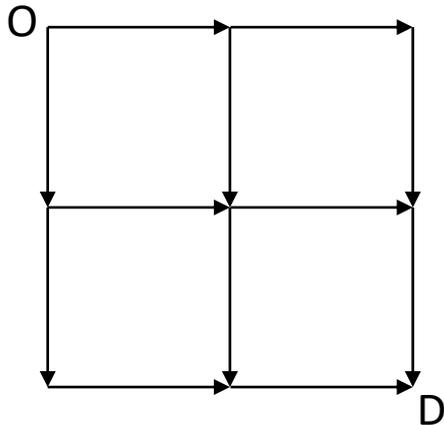


# 道路ネットワーク上の経路選択モデルの問題点

- ① 選択肢集合が一意に設定できない(Choice Set問題)
- ② 経路重複がある(Overlapping問題)
- ③ 配分モデルとの整合性を考慮する必要(Assignment整合)



# ① 様々な選択肢集合の設定方法



$n \times n$ の正方形対角ノード間の選択肢数

$${}_{2n}C_n = \frac{2n!}{n! \times n!}$$

2	6
3	20
4	70
5	252
6	924
7	3,432
8	12,870
9	48,620
10	184,756

## a) Labeling Approach (Ben-Akiva et al. 1987)

「最短時間経路」「最小費用経路」「最小右折回数経路」…  
など異なる基準で代表的経路を設定する方法

- 選択肢数も少数で、通常のLogitモデル適用可能
- × 基準の選び方にルールはない

## b) K番目最短経路を用いる方法 (k-th shortest path algorism)

最短経路算出のアルゴリズムを工夫して、第k番目までの最短経路を  
列挙して選択肢集合を形成する方法

○理論的には理解しやすい (人間の判断基準に近い?)

×アルゴリズムを一意に決定できない

(鉄道最短経路探索ソフトもサイト毎に結果が異なることがある)

## c) Dial組み込みモデル(Dial 1971) (笹井・兵藤ら 2004)

確率均衡配分で用いられているDialのアルゴリズムを用いて  
選択肢集合を限定する方法

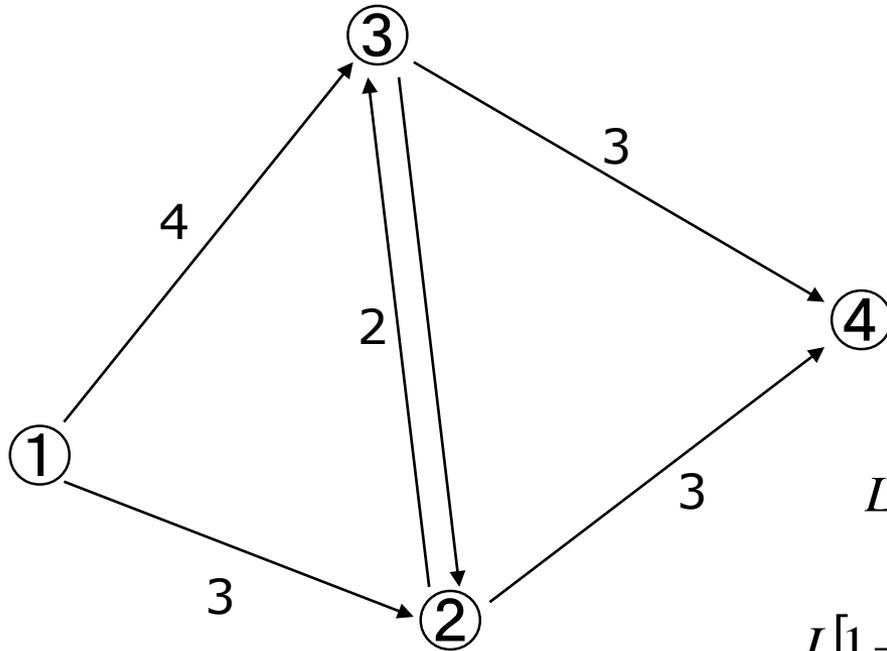
○解は一意に定められる

×Dialアルゴリズムの欠点を引き継ぐ (後述)

最尤法が使えない→パラメータ推定の問題

# Dial Algorithm

## Step 0 : (準備)



起点から全てのノードへの最小費用計算

$$c(1)=0$$

$$c(2)=3$$

$$c(3)=4$$

$$c(4)=6$$

起点から遠ざかるリンクで以下の「リンク尤度」を計算

$$L[i \rightarrow j] = \begin{cases} \exp[\theta\{c(j) - c(i) - t_{ij}\}] & c(i) < c(j) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$L[1 \rightarrow 2] = \exp[\theta\{c(2) - c(1) - t_{12}\}] = \exp[0]$$

$$L[1 \rightarrow 3] = \exp[\theta\{c(3) - c(1) - t_{13}\}] = \exp[0]$$

$$L[2 \rightarrow 3] = \exp[\theta\{c(3) - c(2) - t_{23}\}] = \exp[-\theta]$$

$$L[3 \rightarrow 2] = 0 \quad (\text{逆行リンクのため})$$

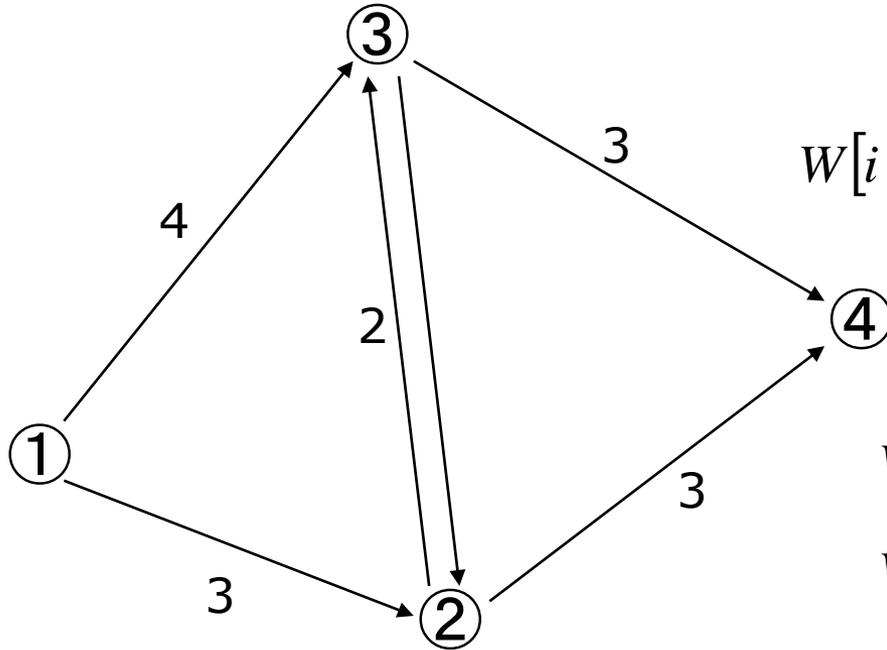
$$L[2 \rightarrow 4] = \exp[\theta\{c(4) - c(2) - t_{24}\}] = \exp[0]$$

$$L[3 \rightarrow 4] = \exp[\theta\{c(4) - c(3) - t_{34}\}] = \exp[-\theta]$$

# Dial Algorithm

## Step 1 : (前進処理)

起点から「近い順」に以下の  
「リンク・ウェイト」を算出



$$W[i \rightarrow j] = \begin{cases} L[i \rightarrow j] & \text{for } i = r \\ L[i \rightarrow j] \sum_{m \in I_i} W[m \rightarrow i] & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$W[1 \rightarrow 2] = L[1 \rightarrow 2] = \exp[0]$$

$$W[1 \rightarrow 3] = L[1 \rightarrow 3] = \exp[0]$$

$$W[2 \rightarrow 3] = L[2 \rightarrow 3] \times W[1 \rightarrow 2] = \exp[-\theta]$$

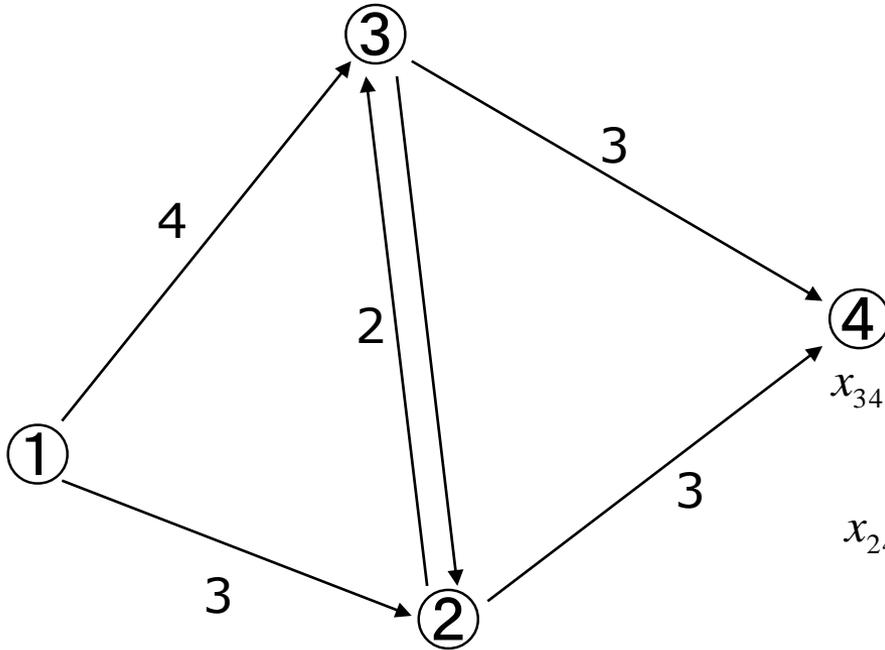
$$W[2 \rightarrow 4] = L[2 \rightarrow 4] \times W[1 \rightarrow 2] = \exp[0]$$

$$\begin{aligned} W[3 \rightarrow 4] &= L[3 \rightarrow 4] \times (W[1 \rightarrow 3] + W[2 \rightarrow 3]) \\ &= \exp[-\theta] \times (1 + \exp[-\theta]) \end{aligned}$$

# Dial Algorithm

## Step 2 : (後退処理)

起点から「遠い順」に以下の式でノードへの流入交通量を算出



$$x_{ij} = \left( Q_{rj} + \sum_{m \in O_j} x_{jm} \right) \frac{W[i \rightarrow j]}{\sum_{m \in I_j} W[m \rightarrow j]}$$

今  $Q_{14}=1$  のみ考える (1→4の確率を求める)

$$x_{34} = \frac{W[3 \rightarrow 4]}{W[3 \rightarrow 4] + W[2 \rightarrow 4]} = \frac{\exp[-\theta] + \exp[-2\theta]}{1 + \exp[-\theta] + \exp[-2\theta]}$$

$$x_{24} = \frac{W[2 \rightarrow 4]}{W[3 \rightarrow 4] + W[2 \rightarrow 4]} = \frac{1}{1 + \exp[-\theta] + \exp[-2\theta]}$$

$$\begin{aligned} x_{23} &= (x_{34}) \times \frac{W[2 \rightarrow 3]}{W[1 \rightarrow 3] + W[2 \rightarrow 3]} = (x_{34}) \times \frac{\exp[-\theta]}{1 + \exp[-\theta]} \\ &= \frac{\exp[-2\theta]}{1 + \exp[-\theta] + \exp[-2\theta]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{13} &= (x_{34}) \times \frac{W[1 \rightarrow 3]}{W[1 \rightarrow 3] + W[2 \rightarrow 3]} = (x_{34}) \times \frac{1}{1 + \exp[-\theta]} \\ &= \frac{\exp[-\theta]}{1 + \exp[-\theta] + \exp[-2\theta]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{12} &= (x_{23} + x_{24}) \times \frac{W[1 \rightarrow 2]}{W[1 \rightarrow 2]} \\ &= \frac{1 + \exp[-2\theta]}{1 + \exp[-\theta] + \exp[-2\theta]} \end{aligned}$$

# Dial Algorithm その特性

$$\theta \rightarrow \infty$$

$$x_{12} = x_{24} = 1$$

$$x_{13} = x_{23} = x_{34} = 0$$

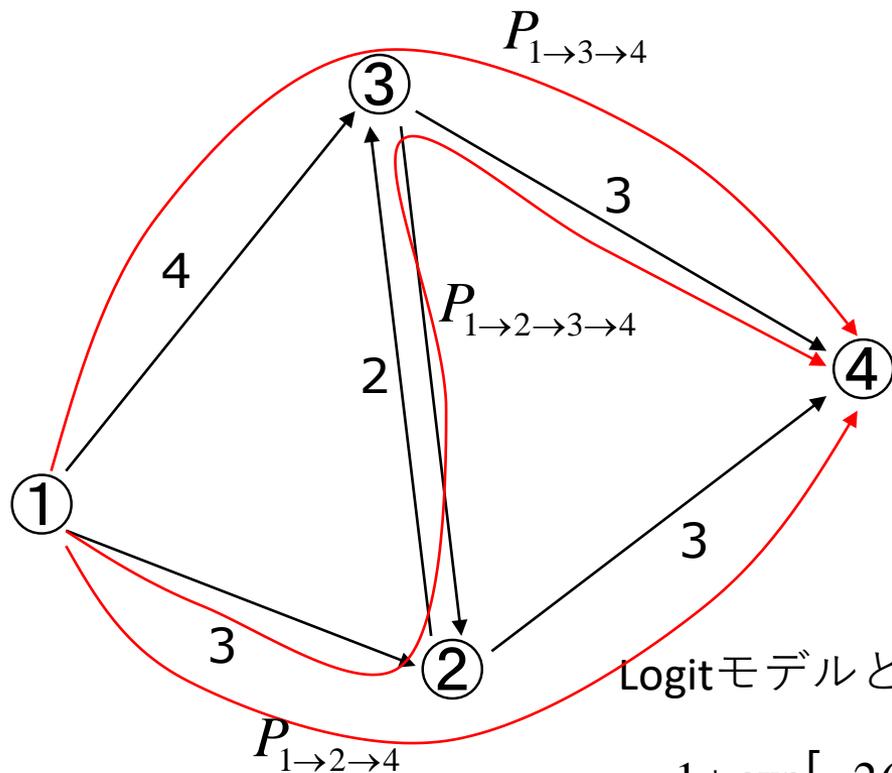
→最短経路に収束

$$\theta \rightarrow 0$$

$$x_{12} = x_{34} = \frac{2}{3} \quad x_{13} = x_{23} = x_{24} = \frac{1}{3}$$

→「通過経路数／総選択枝数」

→「総選択枝数」は着ノードのリンク・  
ウェイト合計値に等しい



Logitモデルとの等価性

例えば…

$$x_{12} = \frac{1 + \exp[-2\theta]}{1 + \exp[-\theta] + \exp[-2\theta]}$$

$$= P_{1 \rightarrow 2 \rightarrow 4} + P_{1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4}$$

$$= \frac{\exp[-6\theta]}{\exp[-6\theta] + \exp[-7\theta] + \exp[-8\theta]} + \frac{\exp[-8\theta]}{\exp[-6\theta] + \exp[-7\theta] + \exp[-8\theta]}$$

$$= \frac{\exp[-6\theta] + \exp[-8\theta]}{\exp[-6\theta] + \exp[-7\theta] + \exp[-8\theta]} = \frac{1 + \exp[-2\theta]}{1 + \exp[-\theta] + \exp[-2\theta]}^{46}$$

# Dialアルゴリズムの $\theta$ が意味するコト

$\theta \rightarrow \infty$  : 選択枝集合は「最短経路」のみに集約される

$\theta \rightarrow 0$  : 遠回りをしない経路の費用が等価になる

→すべての経路の費用が同じになる

→任意のリンクの「 $1/\text{リンク選択確率}$ 」は

そのリンクを通過する「経路選択枝数」に比例

→選択枝総数はアルゴリズム中で算出されるので

「経路選択枝数」が計測可能

「Dial組み込み重複率最大化モデル」の実データによる検証

- ・ 自転車経路データ (宇都宮、七尾、久留米) (笹井・兵藤ら2004)
- ・ 今回の大型車経路データ

→ともに、 $\theta \rightarrow \infty$  で目的関数は最大

→実際には「重複経路最大化」で十分?

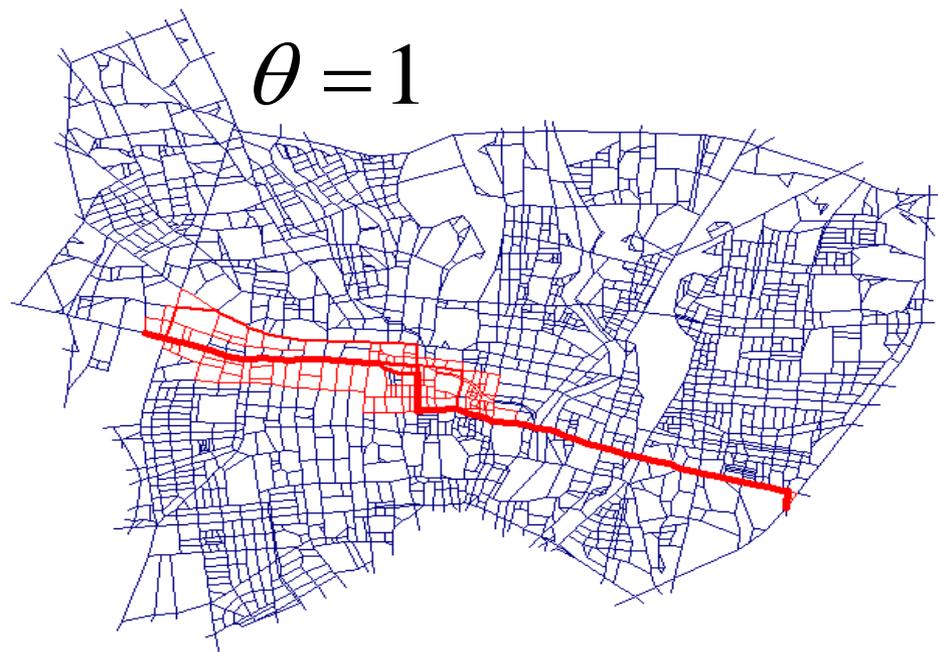
$\theta = 0.1$



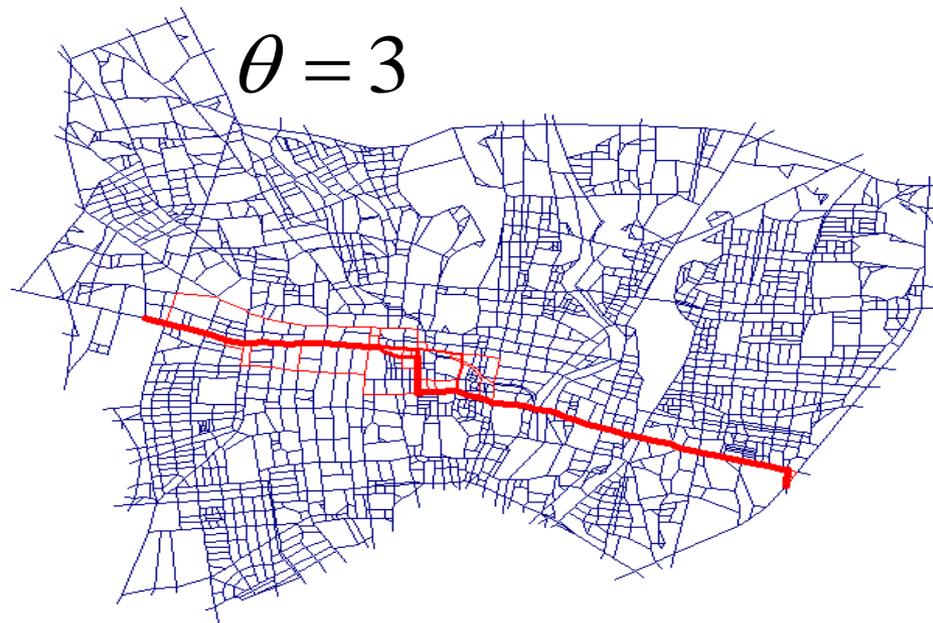
$\theta = 0.5$



$\theta = 1$



$\theta = 3$



# Dial組み込みモデル

使用したリンク長にリンク選択確率を掛けたものの合計

$$D_p(\beta, \theta) = \frac{\sum_n \sum_a \delta_{na} \cdot P_{na}(\beta, \theta) \cdot l_a}{\sum_n X_n}$$

全サンプル実走行距離の合計

$P_{na}(\beta, \theta)$  : サンプル $n$ の $a$ リンク選択確率

## Dial組み込みモデルの特徴

起終点間の経路を特定する事なく、各リンクの選択確率を推計可能

$\theta \rightarrow 0$  : 全ての選択肢が等価( $p=1$ /選択肢数)

$\theta \rightarrow \infty$  : 最短経路のみが選ばれる( $p=1$ )

$\theta = \infty$  の時Dial組み込みモデルは重複率最大化モデルに相当

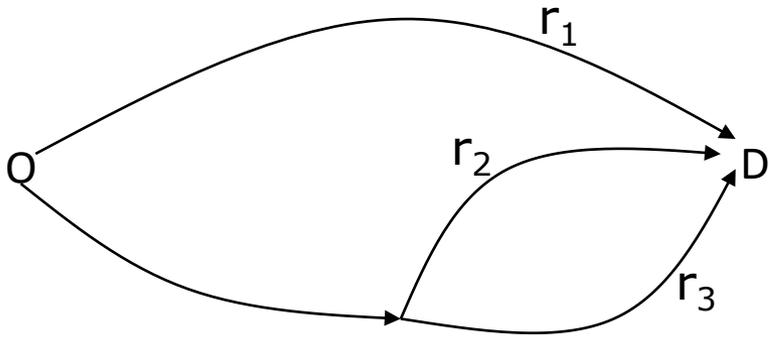
➡ Dial組み込みモデルは重複率最大化モデルの一般化

d) 重複率最大化モデルを用いて選択肢集合を扱わない方法（鈴木・兵藤ら 1998）



e) Recursive Logit Model (Fosgerau et al. 2013)

## ②経路重複問題(Overlapping Path Problem)



そのままだと

$$r_1 = r_2 = r_3 = 0.333$$

→多分、 $r_1 > r_2, r_3$  であろう

...

経路重複への対応方法

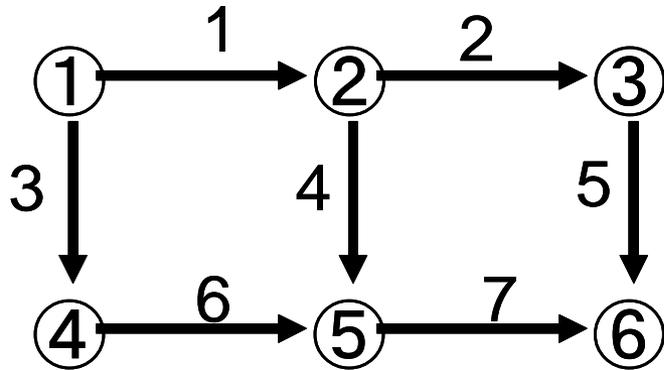
### a) 誤差構造で対応する方法

- ・ Nested Logit (NL)と同様、経路間の誤差相関を考慮する方法
  - a-1) Probitモデルで対応 (Daganzo 1977、Yai 1998)
    - 経路間のリンク重複を経路間誤差相関(共分散)で表現
    - 2000年東京運政審モデル(鉄道計画)で採用された
  - a-2) Mixed Logitモデルで対応(日比野ら2004)
    - 同様に誤差相関をMixed Logitで表現



b) 効用項に重複修正項を導入する方法

b-1) C-logitモデル (Cassetta 1996、日比野ら2004)



Path 1:  $L_1 \rightarrow L_2 \rightarrow L_5$

Path 2:  $L_1 \rightarrow L_4 \rightarrow L_7$

Path 3:  $L_3 \rightarrow L_6 \rightarrow L_7$

経路の効用項に以下の修正項 (Commonality Factor) を加える

$$CF_i = -\beta_c \ln \left( \sum_{j \in C} \left( \frac{L_{ij}}{\sqrt{L_i L_j}} \right)^\gamma \right)$$

$$CF_1 = -\beta \cdot \ln \left( \left( \frac{L_1 + L_2 + L_5}{3L} \right)^\gamma + \left( \frac{L_1}{3L} \right)^\gamma \right) = -\beta \cdot \ln \left( 1 + \left( \frac{1}{3} \right)^\gamma \right)$$

$$CF_2 = -\beta \cdot \ln \left( \left( \frac{L_1}{3L} \right)^\gamma + \left( \frac{L_1 + L_4 + L_7}{3L} \right)^\gamma + \left( \frac{L_7}{3L} \right)^\gamma \right) = -\beta \cdot \ln \left( 1 + 2 \left( \frac{1}{3} \right)^\gamma \right)$$

$$CF_3 = -\beta \cdot \ln \left( \left( \frac{L_7}{3L} \right)^\gamma + \left( \frac{L_3 + L_6 + L_7}{3L} \right)^\gamma \right) = -\beta \cdot \ln \left( 1 + \left( \frac{1}{3} \right)^\gamma \right)$$

$\gamma=2$  のとき :

$$CF_1 = -\beta \cdot \ln \left( \frac{10}{9} \right)$$

$$CF_2 = -\beta \cdot \ln \left( \frac{11}{9} \right)$$

$$CF_3 = -\beta \cdot \ln \left( \frac{10}{9} \right)$$

## b-2) Path Size (Logit)モデル (Ben-Akiva & Bierlaire 1999)

C-Logit同様、以下の修正項を効用項に付加する

$$\beta \cdot \ln[\text{PS}_i] = \beta \cdot \ln \left[ \sum_{a \in \Gamma_i} \left( \frac{l_a}{L_i} \right) \frac{1}{\sum_{j \in C} \delta_{aj}} \right] \quad \cdot \text{リンクの重複経路数の逆数を利用する}$$

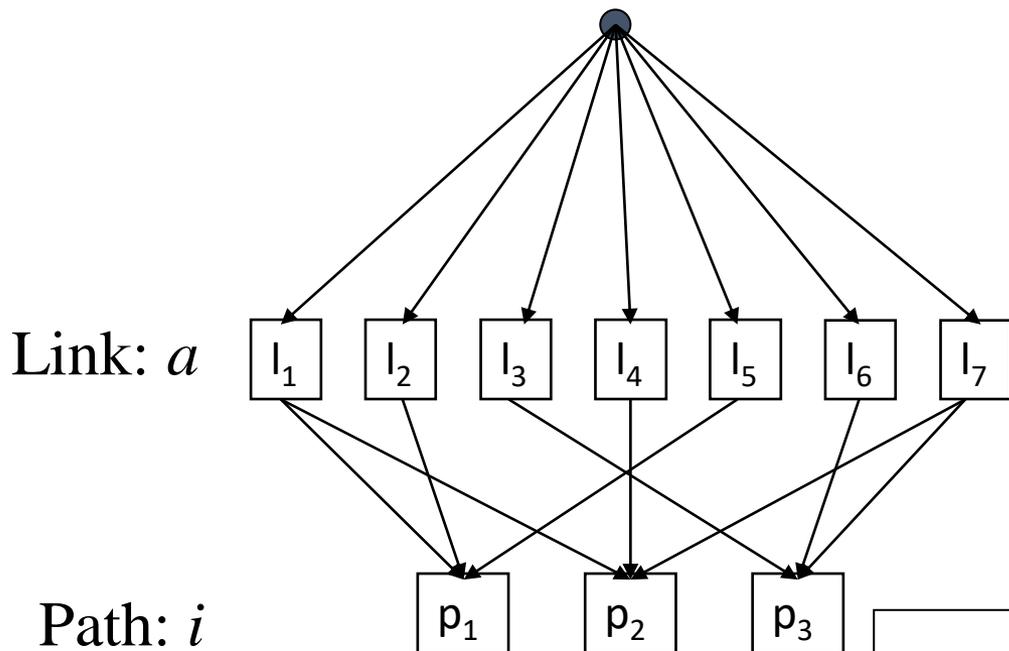
$$\beta \cdot \ln[\text{PS}_1] = \beta \cdot \ln \left( \frac{L_1}{3L} \cdot \frac{1}{2} + \frac{L_2}{3L} \cdot \frac{1}{1} + \frac{L_5}{3L} \cdot \frac{1}{1} \right) = \beta \cdot \ln \left( \frac{5}{6} \right)$$

$$\beta \cdot \ln[\text{PS}_2] = \beta \cdot \ln \left( \frac{L_1}{3L} \cdot \frac{1}{2} + \frac{L_4}{3L} \cdot \frac{1}{1} + \frac{L_7}{3L} \cdot \frac{1}{2} \right) = \beta \cdot \ln \left( \frac{4}{6} \right)$$

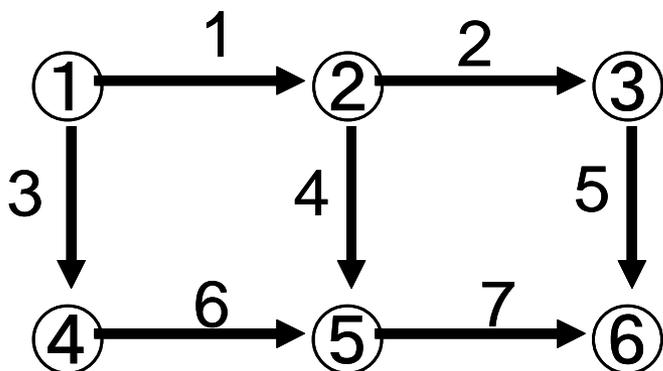
$$\beta \cdot \ln[\text{PS}_3] = \beta \cdot \ln \left( \frac{L_3}{3L} \cdot \frac{1}{1} + \frac{L_6}{3L} \cdot \frac{1}{1} + \frac{L_7}{3L} \cdot \frac{1}{2} \right) = \beta \cdot \ln \left( \frac{5}{6} \right)$$

c) GEVモデルからの導出モデル

Cross Nested Logit (CNL)モデル(Vovsha & Bekhor 1998)



経路 (path) におけるリンクの重複をNest構造で表現



$$P(m) = \frac{\left( \sum_k (\alpha_{mk})^{1/\mu} \exp[(-\theta c_k)/\mu] \right)^\mu}{\sum_{m'} \left( \sum_k (\alpha_{m'k})^{1/\mu} \exp[(-\theta c_k)/\mu] \right)^\mu}$$

$$P(k | m) = \frac{(\alpha_{mk})^{1/\mu} \exp[(-\theta c_k)/\mu]}{\sum_{k'} (\alpha_{mk'})^{1/\mu} \exp[(-\theta c_{k'})/\mu]}$$

$$\alpha_{mk} = \left( \frac{L_m}{L_k^{55}} \right)^\gamma \delta_{mk}$$

C-Logit, PS-Logit 同様、3つの経路費用が同じ+”  $\gamma=2$ ” を考えれば...

$$\alpha_{m=1,k=1} = \alpha_{m=1,k=2} = \alpha_{m=2,k=1} = \alpha_{m=3,k=3} = \dots = \left(\frac{1}{3}\right)^2$$

$$P_{m=1} = P_{m=7} = \frac{2^\mu}{5 + 2^{\mu+1}} \quad P_{m=2} = P_{m=3} = P_{m=4} = P_{m=5} = P_{m=6} = \frac{1}{5 + 2^{\mu+1}}$$

$$P_{k=1|m=1} = P_{k=2|m=1} = P_{k=2|m=7} = P_{k=3|m=7} = \frac{1}{2}$$

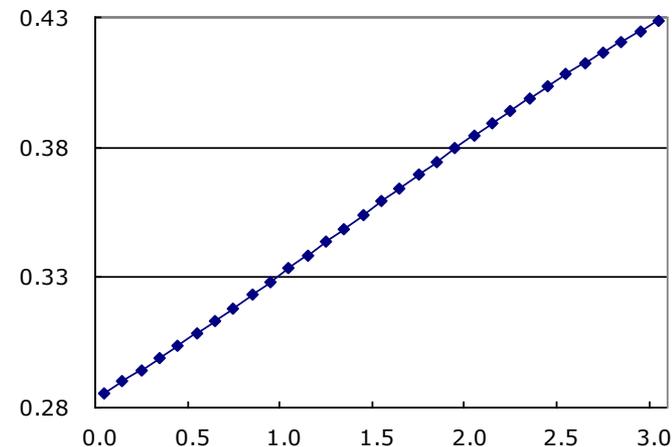
$$P_{k=1|m=2} = P_{k=1|m=5} = P_{k=2|m=4} = P_{k=3|m=3} = P_{k=3|m=6} = 1$$

$$P_{k=1} = P_{k=1|m=1} + P_{k=1|m=2} + P_{k=1|m=5} = \frac{4 + 2^\mu}{2(5 + 2^{\mu+1})}$$

$$P_{k=2} = P_{k=2|m=1} + P_{k=2|m=4} + P_{k=2|m=7} = \frac{1 + 2^\mu}{5 + 2^{\mu+1}}$$

$$P_{k=3} = P_{k=3|m=3} + P_{k=3|m=6} + P_{k=3|m=7} = \frac{4 + 2^\mu}{2(5 + 2^{\mu+1})}$$

$P_{k=2}$  と  $\mu$  の関係



# 東京都市圏物流調査の大型貨物車データへの適用

- ・ 選択肢集合設定には 「Labeling Approach」 を採用
  - ・ 「実経路」「最短距離」「最短時間」「最小費用」「最大重複」を組み合わせて12通りのモデルを構築
  - ・ MNL
  - ・ C-Logit
  - ・ Path Size Logit
  - ・ Cross Nested Logit を推定

## 結果：

- ・ 選択肢の組合せにより符号条件が合わないケースが多い
  - 「最短時間」「最大重複」が含まれると符号合わない...
  - 実経路に近い（効用の高い）代替案が入ることの効果
- ・ 説明力に関しては、概ね、  
Path Size Logit, C-Logit > CNL > MNL  
という関係

モデル番号	実経路	最短距離	最短時間	最小費用	最大重複	所要時間 [100分]	費用 [万円]	重さ指定道 路長 [Km]	初期尤度	最終尤度	尤度比
MNL-1	1	1	0	0	0	4.1631 2.26	-8.6017 -4.16	0.5361 7.75	-414.5	-230.8	0.4404
MNL-2	1	1	1	0	0	1.6005 1.99	-13.5696 -10.61	0.2128 11.45	-657.0	-468.2	0.2855
MNL-3	1	1	0	1	0	-5.8684 -5.84	-6.4619 -3.65	0.3415 10.28	-657.0	-432.7	0.3397
MNL-4	1	1	0	0	1	2.4267 4.08	2.5702 3.57	0.0632 6.43	-657.0	-625.9	0.0449
MNL-5	1	0	1	1	0	-3.2614 -6.20	-7.5158 -8.95	0.0991 8.82	-657.0	-581.6	0.1125
MNL-6	1	0	1	0	1	8.3528 7.58	2.8325 -1.77	-0.0816 -5.35	-657.0	-574.7	0.1231
MNL-7	1	0	0	1	1	3.5163 5.47	13.7109 7.47	0.0145 1.51	-657.0	-583.0	0.1104
MNL-8	1	1	1	1	0	-3.4937 -6.53	-8.4658 -10.02	0.1281 11.24	-829.0	-704.4	0.1489
MNL-9	1	1	1	0	1	2.1205 3.99	-1.7596 -3.16	0.0528 6.40	-829.0	-789.0	0.0467
MNL-10	1	1	0	1	1	0.7085 1.55	3.0511 3.88	0.0688 7.62	-829.0	-764.1	0.0768
MNL-11	1	0	1	1	1	-0.1049 -0.28	-1.1726 -2.23	0.0294 3.84	-829.0	-820.3	0.0088
MNL-12	1	1	1	1	1	-0.3254 -0.83	-2.0692 -3.90	0.0560 7.31	-962.4	-928.3	0.0342

モデル番号	実経路	最短距離	最短時間	最小費用	最大重複	所要時間 [100分]	費用 [万円]	重さ指定道 路長 [Km]	Commonality Factor	初期尤度	最終尤度	尤度比
CL-1	1	1	0	0	0	1.8361 0.83	-11.9608 -4.42	0.5443 7.81	-1.0536 -2.02	-414.5	-228.7	0.4445
CL-2	1	1	1	0	0	2.8740 3.19	-11.1857 -7.89	0.2082 11.20	0.9073 3.22	-657.0	-462.4	0.2938
CL-3	1	1	0	1	0	-8.7850 -6.59	-9.7570 -4.96	0.3637 10.41	-1.3213 -3.57	-657.0	-426.3	0.3490
CL-4	1	1	0	0	1	5.4022 6.42	4.9772 5.33	0.0937 7.60	1.8395 6.45	-657.0	-599.9	0.0839
CL-5	1	0	1	1	0	-0.7037 -1.12	-4.6463 -5.10	0.1043 9.02	1.5382 6.45	-657.0	-555.1	0.1523
CL-6	1	0	1	0	1	13.4787 9.03	7.4914 7.13	-0.0515 -3.02	2.9619 8.75	-657.0	-509.5	0.2218
CL-7	1	0	0	1	1	4.9182 6.17	4.8895 7.54	0.0696 2.75	1.0293 3.65	-657.0	-575.7	0.1207
CL-8	1	1	1	1	0	-1.3832 -2.13	-6.1730 -6.69	0.1342 11.42	1.2648 5.22	-829.0	-687.8	0.1685
CL-9	1	1	1	0	1	5.2612 7.52	1.3116 1.97	0.0825 8.35	2.2363 8.44	-829.0	-737.6	0.1083
CL-10	1	1	0	1	1	2.4744 4.11	4.6646 4.85	0.0857 8.33	1.3121 5.10	-829.0	-748.9	0.0947
CL-11	1	0	1	1	1	2.5746 5.04	1.3329 2.11	0.0526 5.88	2.0587 8.51	-829.0	-768.7	0.0706
CL-12	1	1	1	1	1	2.1871 4.19	0.2762 0.44	0.0786 8.79	1.8984 7.86	-962.4	-885.8	0.0781

モデル番号	実経路	最短距離	最短時間	最小費用	最大重複	所要時間 [100分]	費用 [万円]	重さ指定道 路長 [Km]	Path Size	初期尤度	最終尤度	尤度比
PS-1	1	1	0	0	0	(尤度関数収束せず)						
PS-2	1	1	1	0	0	3.8029 3.88	-11.8847 -8.88	0.2425 11.24	-1.6635 -4.76	-657.0	-454.7	0.3056
PS-3	1	1	0	1	0	-9.0839 -8.00	-10.5746 -6.08	0.2501 7.92	2.7237 7.35	-657.0	-402.7	0.3850
PS-4	1	1	0	0	1	6.4956 7.15	6.0419 6.24	0.1145 7.88	-3.4272 -8.74	-657.0	-569.0	0.1309
PS-5	1	0	1	1	0	0.3032 0.44	-4.2101 -4.83	0.1431 9.81	-3.2040 -8.34	-657.0	-526.5	0.1958
PS-6	1	0	1	0	1	4.434 9.04	7.517 6.80	0.0488 -2.80	-1.23 -7.76	-657.0	-529.6	0.1912
PS-7	1	0	0	1	1	9.1317 8.34	24.8866 8.77	0.0452 3.37	-4.1816 -9.05	-657.0	-514.2	0.2148
PS-8	1	1	1	1	0	-2.8244 -4.73	-7.8530 -8.92	0.1407 10.97	-0.4539 -2.49	-829.0	-701.1	0.1524
PS-9	1	1	1	0	1	7.8380 8.96	2.7536 3.69	0.1033 8.61	-2.7522 -9.88	-829.0	-713.1	0.1379
PS-10	1	1	0	1	1	2.0003 3.57	4.5794 4.90	0.0990 8.26	-0.9980 -4.63	-829.0	-751.9	0.0910
PS-11	1	0	1	1	1	4.5359 7.44	3.6134 4.90	0.0591 5.80	-2.7653 -10.39	-829.0	-735.3	0.1111
PS-12	1	1	1	1	1	2.2759 4.24	0.4452 0.70	0.0931 9.28	-1.4102 -7.53	-962.4	-891.7	0.0719

モデル番号	実経路	最短距離	最短時間	最小費用	最大重複	所要時間 [100分]	費用 [万円]	重さ指定道 路長 [Km]	スケールパラメータ ( $\mu$ )	初期尤度	最終尤度	尤度比
CNL-1	1	1	0	0	0	(尤度関数収束せず)						
CNL-2	1	1	1	0	0	2.3660 1.80	-20.0975 -5.99	0.3055 6.45	2.3249 5.00	-657.0	-461.9	0.2969
CNL-3	1	1	0	1	0	(尤度関数収束せず)						
CNL-4	1	1	0	0	1	6.8788 4.72	6.8991 4.51	0.1206 4.73	3.5886 8.15	-657.0	-593.4	0.0968
CNL-5	1	0	1	1	0	-4.1590 -3.99	-11.0062 -5.18	0.1457 5.69	3.8060 7.75	-657.0	-518.1	0.1657
CNL-6	1	0	0	1	1	2.6995 5.26	2.9165 4.15	0.1813 -4.22	3.343 7.00	-657.0	-547.3	0.1669
CNL-7	1	0	0	1	1	5.5982 5.10	21.0474 5.93	0.0071 0.45	3.0980 6.75	-657.0	-564.9	0.1402
CNL-8	1	1	1	1	0	-3.7780 -5.96	-9.4704 -7.82	0.1467 7.87	1.5533 4.29	-829.0	-702.7	0.1524
CNL-9	1	1	1	0	1	7.9708 5.00	-0.6617 -0.47	0.1158 4.38	3.8405 7.32	-829.0	-739.3	0.1083
CNL-10	1	1	0	1	1	2.0916 2.85	5.8939 3.91	0.1161 5.91	2.4876 5.96	-829.0	-752.9	0.0918
CNL-11	1	0	1	1	1	2.4045 3.37	1.0201 0.98	0.0361 2.46	3.5686 9.76	-829.0	-58765.6	0.0764
CNL-12	1	1	1	1	1	1.5508 2.22	-1.7084 -1.69	0.1126 6.26	3.2947 8.17	-962.4	-893.0	0.0721

# 最尤法

(Labeling Approach)

~~MNL~~

経路重複  
への対応

~~C-Logit~~

~~Cross-Nested  
Logit~~

~~Path-Size  
Logit~~

Path Size  
Dial Logit

# 重複率最大化

Dialによる  
経路限定

~~Dial組込  
モデル~~

重複補正

最短経路  
のみ扱う

特殊解

~~重複率  
最大化  
モデル~~

★Path Size Logitモデルは「リンクを通過する経路数」  
を用いている

★Dialのアルゴリズムの「 $\theta \rightarrow 0$ 」でリンク通過経路数は  
カウント可能

→両者を結びつけられないか？

**Path Size + Dial Logitモデル？**

→Dialアルゴリズムの若干の改良で対応可能

→経路重複を考慮した

「Dial組み込み重複率最大化モデル」として

+ 「確率均衡配分のDialアルゴリズムの改良版」として

→経路重複を考慮した確率均衡配分モデル

## 方法：

- 1)  $\theta \rightarrow 0$  でDial計算し、リンク別通過経路数をカウント
- 2) その経路数を用いて、Dialアルゴリズムのリンク尤度関数に以下のPath Size項を加える

$$PS_{ij} = \frac{L_{ij}}{L^{\min}} \ln \left[ \frac{1}{M \cdot q_{ij}} \right]$$

$ij$ リンクの通過選択肢数

- 3) 再びDialアルゴリズムで経路選択確率を算出

→DialアルゴリズムとLogitモデルの等価性証明と同じ手順で、以下の式が導かれる

$$P_k = \frac{\exp[-\theta c_k + \beta_{PS} PS_k]}{\sum_{k'} \exp[-\theta c_{k'} + \beta_{PS} PS_{k'}]}$$

→Path Size Logitモデルに「似ている」

# 「似ている」が「ちょっと違う」

$$\beta \cdot \ln \left[ \sum_{a \in \Gamma_i} \left( \frac{l_a}{L_i} \right) \frac{1}{\sum_{j \in C} \delta_{aj}} \right]$$

Path Size Logit

$$\beta \left[ \sum_{a \in \Gamma_i} \left( \frac{l_a}{L^{\min}} \right) \ln \left[ \frac{1}{\sum_{j \in C} \delta_{aj}} \right] \right]$$

Path Size Dial Logit

## ①対数化の順序が違う

- ・リンク長の重みを付けてから対数 (PS)
- ・対数化後、重みをつける (PS-Dial)

$$\ln \left[ \sum_i w_i \cdot X_i \right] \quad \text{vs.} \quad \sum_i w_i \cdot \ln [X_i]$$

→背景理論はないので、どっちでもいい？

## ②各経路長 ( $L_i$ ) ではなく、

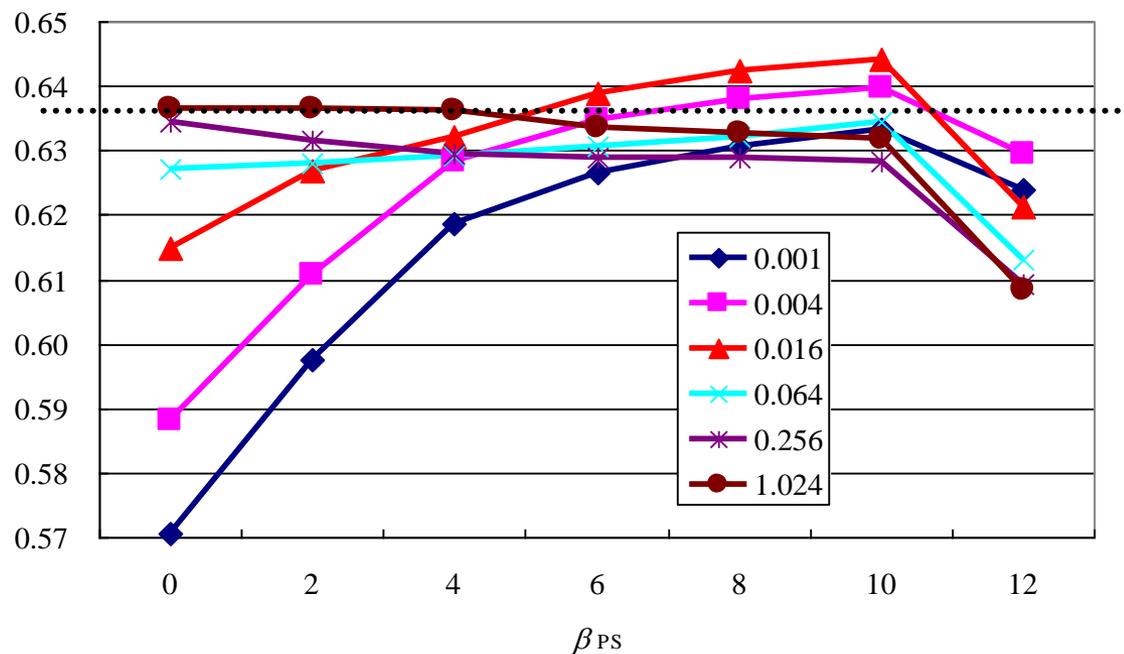
代表的に選択枝共通に最短経路長 ( $L^{\min}$ ) を用いている

→通過経路数と経路長に相関があるとbiasをもたらす？

→同一OD間の選択枝で経路長に大きな相違はないのでOK？

## 大型貨物車データに適用してみた

→ 「 $\theta \rightarrow \infty$ 」の「Dial組み込み重複率最大化モデル」を若干上回る結果となる



経路選択モデルとしては、可能性はありそう

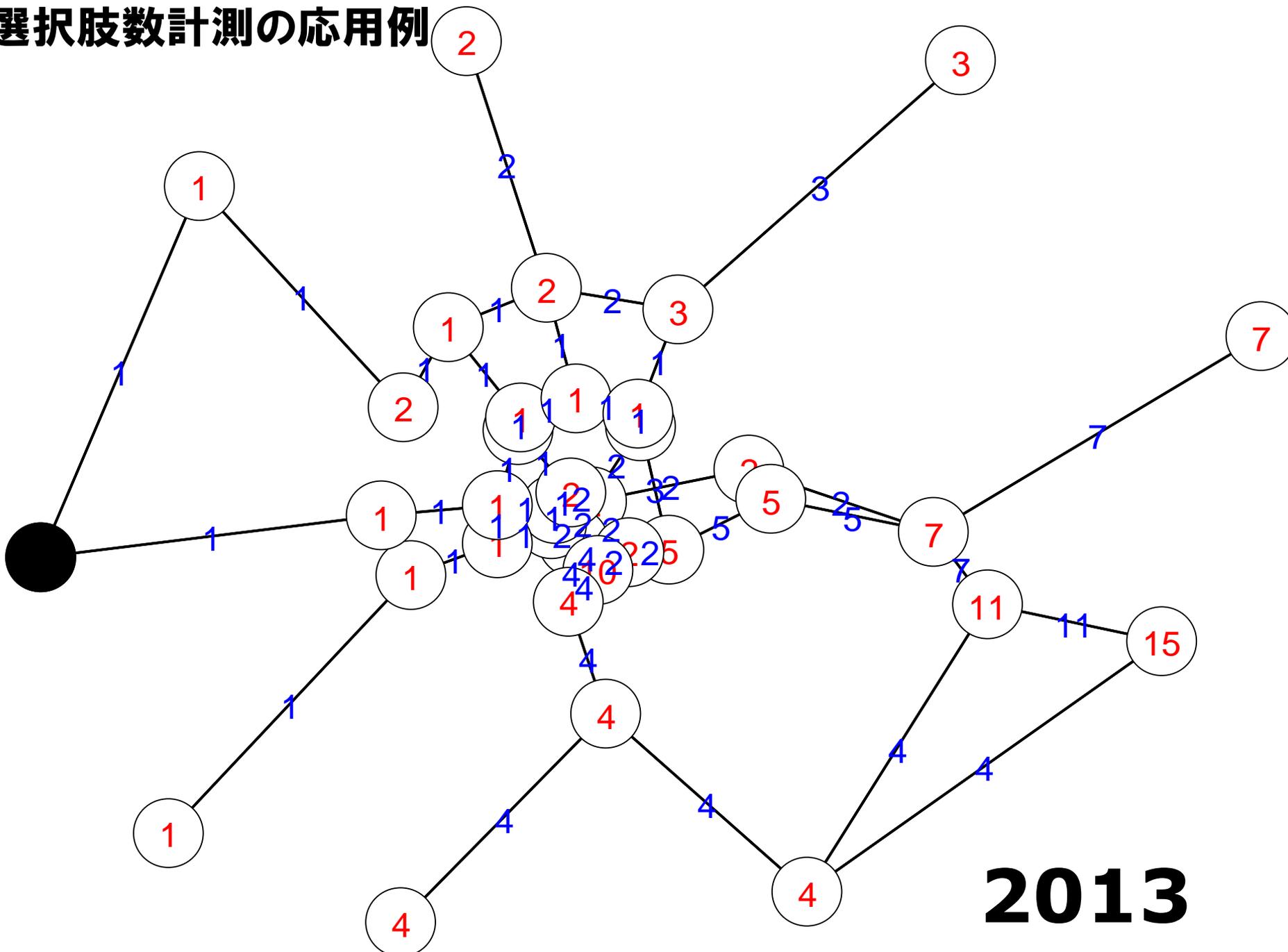
しかし、確率均衡配分への適用に際しては、  
前述の2つの問題を検証する必要性

## 将来への展望（2006年記載の内容デス）

- ・ Path Size Dialモデル
  - 「重複処理」の有用な場面とは？
- ・ 確率均衡配分と重複率最大化モデルの組み合わせ
  - 「確率均衡」はODの経路選択結果判明
    - + 重複率最大化モデルでそのfitness評価可能
  - 従来は断面交通量のfitnessでパラメータ推定
    - + Probeデータがあれば、重複率最大化で補足的なfitness評価が可能
- ★ 「適当なサイズ（1,000ノード、50ゾーン）」
  - 「観測リンク交通量あり」
  - 「100サンプルのprobe経路データ」
  - があると更に、ネットワーク分析向けの実用性検討可能



# 選択肢数計測の応用例



**2013**



# Modeling Truck Route Choice Behavior by Traffic Electronic Route Information Data for Oversize / Overmass Vehicles

---

---

## 0. Background

1. Generating information of truck route choice with electronic route information data for oversize/overmass vehicles
  2. Truck route assignment model using the electronic route data
  3. Proposals for analysis of route choice by sea container trailers
- 
- 

Innovations in Freight Demand Modeling and Data

Sep.14-15, 2010

**萩野 保克氏の社会人博士論文**

**Tetsuro HYODO**

**Yasukatsu HAGINO**

**Tokyo University of Marine  
Science and Technology**

**Institute of Behavioral  
Sciences, JAPAN**

# OUTLINE

Oversize/Overmass vehicles (including 20 ft, 40ft sea containers) must get permission

**From 2004, online application system started.  
It is simple GIS based internet system**

The huge application data (route of each vehicle) are collected automatically (over 1 million per year)

How to use them for effective policy measures or understanding of truck behavior

# 無尽蔵に存在する特車電子申請データと道路情報便覧でMORモデル

## ONLINE SYSTEM

特車通行確認・特車通行許可  
特殊車両通行申請手続き



国土交通省



### 特車登録センター

令和4年4月1日に「**限度超過車両の新たな通行確認制度**」が施行されました。詳しくは左のパナーをクリックしてください。（指定登録確認機関のWebサイトに移動します）

一般財団法人 道路新産業開発機構  
Highway Industry Development Organization

文字の大きさ [小](#) [中](#) [大](#)

### 初めてオンライン申請を利用される方

はじめにお読みの上、新規利用登録を行い、ユーザーID・パスワードを取得してください。



※推奨パソコン環境について

**よくある!?**  
間違い事例集

### 既に利用されている方 (ユーザーID・パスワードが必要です)

通行許可システムへのログイン  
通行確認システムへのログイン

- 通行確認制度  
車両登録・経路確認
- 通行許可制度  
申請データの作成・提出

簡易算定システムへのログイン

作成したデータを算定する  
提出前にご確認ください

### 走行前にご確認ください

特殊車両に係る全国の通行規制情報を確認できます。



大型車誘導区間、重さ指定及び高さ指定道路、特車許可不要区間の箇所を確認できます。

- 大型車誘導区間  
重さ高さ指定道路  
特車許可不要区間  
ガイドマップ

全国の未収録道路の路線名等の問い合わせ先を確認できます。

- 路線名等について
- 特殊車両通行許可不要制度について

メニュー

- トップページ
- 特殊車両通行確認制度【新制度】について
- 特車登録センター  
一般財団法人 道路新産業開発機構  
Highway Industry Development Organization
- 特殊車両通行許可制度について
- システム利用規約  
初めにお読みください
- 特殊車両通行許可システムによるオンライン申請について
- 代理申請について

## 車両制限を超える通行の電子申請

# Result of Parameter Estimation

Explanatory variables	Model 1 (High cube containers)	Model 2 (All sea containers)
Value of time (yen/min.)	<b>67.7</b>	<b>115.4</b>
Multiple lanes (dummy) (dual 2 or more lanes)	0.4445	0.4954
Weight designated road (dummy)* <b>重さ指定道路</b>	0.3671	0.4198
Height designated road (dummy)** <b>高さ指定道路</b>	0.6106	0.6399
Overlapping ratio (%)	36.3	33.3
Number of samples	<b>5,820</b>	<b>24,497</b>

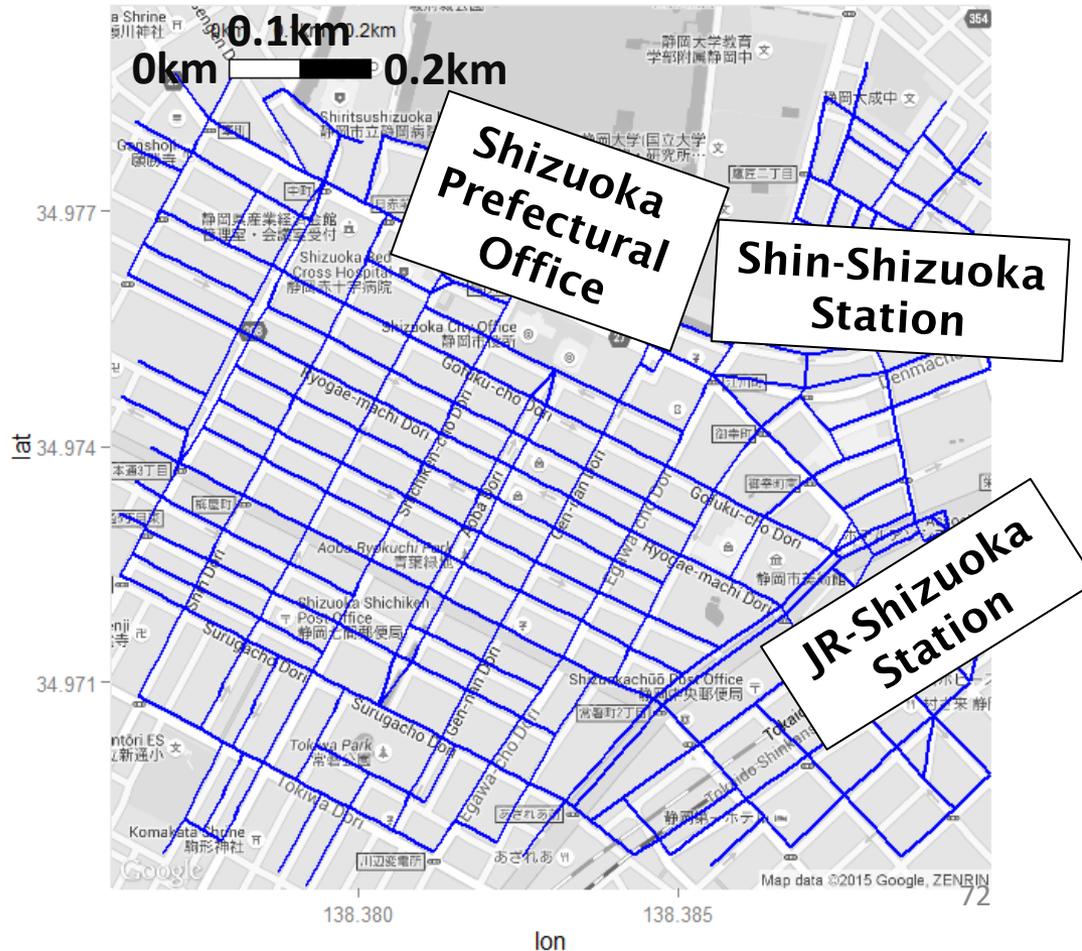
\* Link is designated for heavy truck (over 20t)=1, otherwise=0

\*\* Link is designated for height container (over 3.8m)=1, otherwise=0

## Network Data and Pedestrian Route Data

### Study Area and Data

- Shizuoka City – capital city of Shizuoka Prefecture, Japan
- Household interview survey (HIS) of Shizuoka City conducted in 2010
- “Add-On” survey – Route choice data
  - Aim was to investigate the pedestrian travel behavior in Shizuoka City
  - Number of samples: **1,576 samples**
  - Includes the basic profile of a pedestrian (e.g., sex, age, type of job, type of license, car or bike ownership, trip purpose) and the paths traversed
  - Pedestrians and Cyclist were not disaggregated during the survey
- Network data used (links and nodes)
  - Number of Links: **1,954 links**
  - Number of Nodes: **408 nodes**



# Model Estimation Results

- The **RL Model is estimated first, varying the road width dummy variable (10m~16m);** model with highest maximum log-likelihood (LL) is compared to the MOR Model variable
- The **instantaneous utility function of the RL Model is specified as a non-linear function like the perceived link length of the MOR Model**

- Recursive Logit Model

$$v_n(a|k) = \sigma \cdot l_{(a|k)} \cdot \beta_{RW}^{d_{RW}} \cdot \beta_{NS}^{d_{NS}} \cdot \beta_{CH}^{d_{CH}}$$

- Maximum Overlapping Ratio Model

$$l_{an}^*(\theta) = l_a \cdot \theta_{RW}^{Z_{anRW}} \cdot \theta_{NS}^{Z_{anNS}} \cdot \theta_{CH}^{Z_{anCH}}$$

RW: Road Width

NS : No Sidewalk

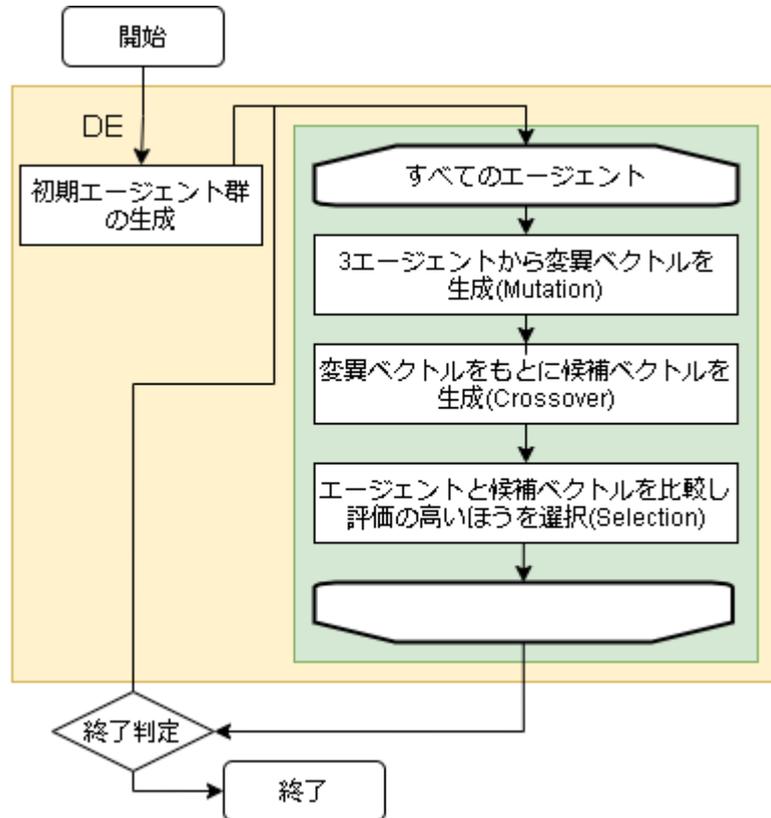
CH : Chicane

- Samples were stratified into less than or equal to 65 years old ( $\leq 65$ years) and greater than 65 years old ( $> 65$ years) during estimation

# 差分進化

差分進化 (Differential Evolution: DE) は、生物の進化をもとに考案された遺伝的アルゴリズムと似ている手法です。大きく、Mutation (突然変異)、Crossover (交叉)、Selection (生存選択) の3つのフェーズがあります。

遺伝的アルゴリズムみたいにフェーズ毎にアルゴリズムがいろいろあるようですが、本記事では一番簡単なアルゴリズムで実装しています。



## Pythonコードのコア部分: 簡単 😊

```
import scipy

t=time.time()
for ii in range(21):
    wid = 14
    print(ii)
    bounds =[(0,1.5), (0,1.5), (0,1.5), (0,1.5), (0,1.5), (0,1.5)]
    res = differential_evolution(mor, bounds,
                                strategy='randtobest1bin',disp=True)

    print(wid)
    print(res)
    for i in range(6):
        para[ii,i] = res.x[i]
    para[ii,6]=res.fun
    para[ii,7]=wid
tt=time.time()
print("Differential Evolution Time : %.3e sec" % (tt-t))

pp = pandas.DataFrame(para)
pp.to_csv('@MOR_7randtobest1bin.csv', index=False)
```

# Discussion and Conclusion

➤ Based on the results, the trend of parameter estimates is similar

(a) RL Model Estimation Result

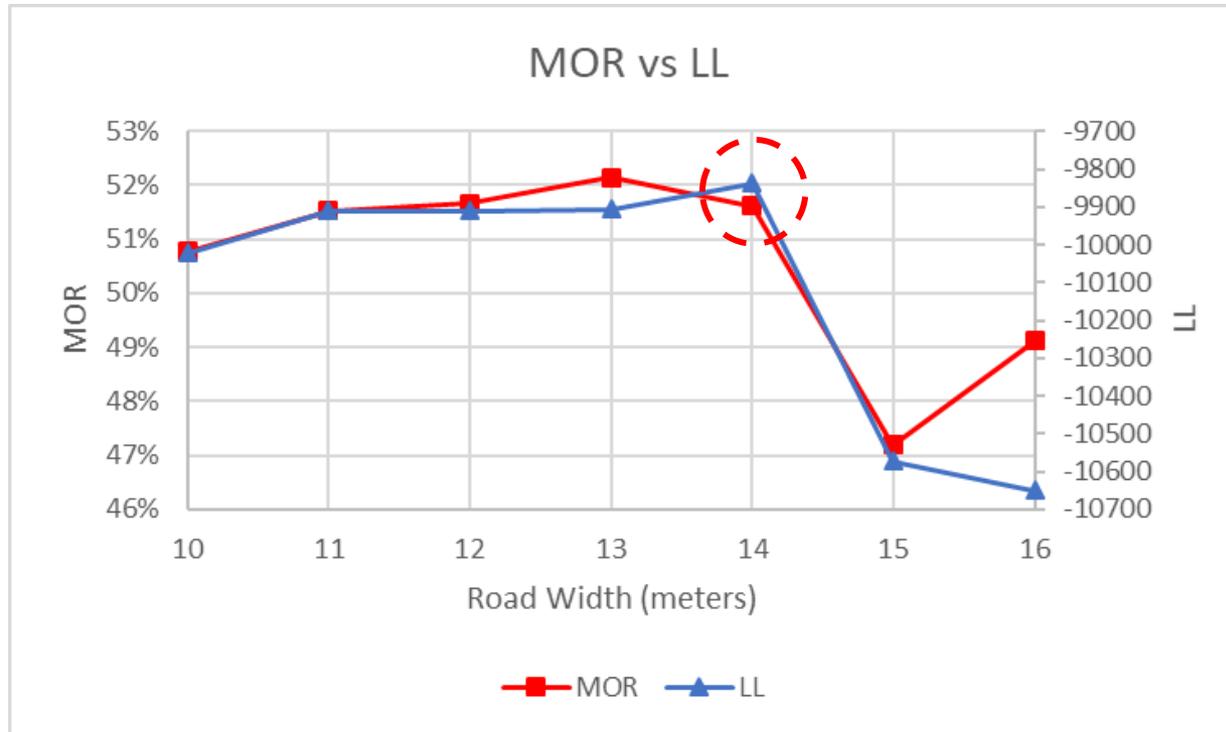
Parameter	road width>14	
	Estimate	t value
dispersion parameter	-0.0318	-111.74
road width	0.6142	76.79
no sidewalk	0.8942	66.04
chicane	0.6395	52.02
road width (>65years)	0.6090	56.96
no sidewalk (>65years)	0.8973	53.47
chicane (>65years)	0.7463	43.71
Log-Likelihood:	-9837.67	

(b) MOR Model Estimation Result

Attribute	Parameter
road width > 14m	0.8121
no sidewalk	0.9018
chicane	0.7103
road width (>65years)	0.7336
no sidewalk (>65years)	1.2176
chicane (>65years)	0.7772
MOR	0.5899

- Two highest parameter values for the RL Model are “no sidewalk (>65 years)” and “no sidewalk” attributes with parameter values 0.8973 and 0.8942, respectively.
- Similarly, in the MOR Model estimation results, “no sidewalk (>65 years)” and “no sidewalk” attributes also yielded the two highest parameters with values 1.2176 and 0.9018, respectively.

# Discussion and Conclusion

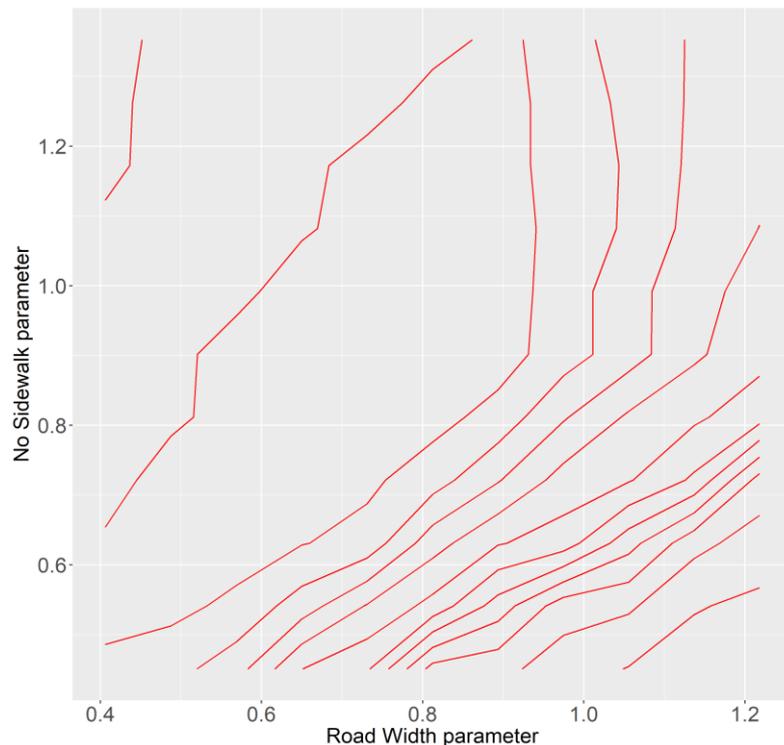


- To compare the two models, MOR was also calculated during the RL Model estimation
- The final LL and MOR are plotted together to visualize their behavior for varying road width (10m~16m)
- The two models are very similar specially around the region of maximum LL and MOR

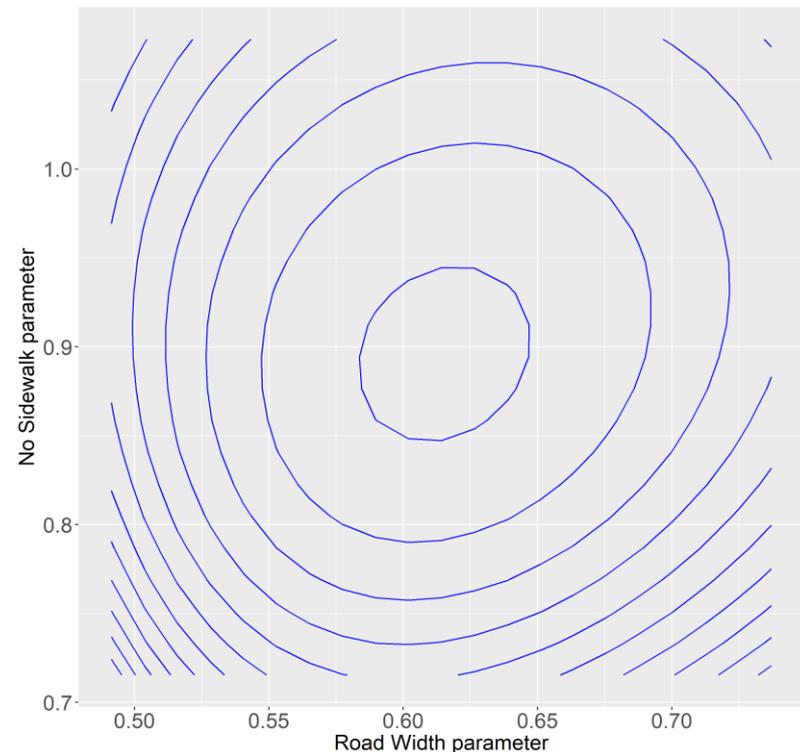
# Discussion and Conclusion

## ➤ Visualization and Comparison of MOR and LL regions

- Two of the most significant variables from the estimated models (Road Width > 14m and No Sidewalk) were chosen for sensitivity analysis to visualize and compare the regions of MOR and LL
- The contour lines of MOR are rough while the contour lines for the Log-likelihood are smooth. Nevertheless, both models show that they have been calibrated from data and have reached convergence



(a) MOR contour lines; (4)randbest1exp

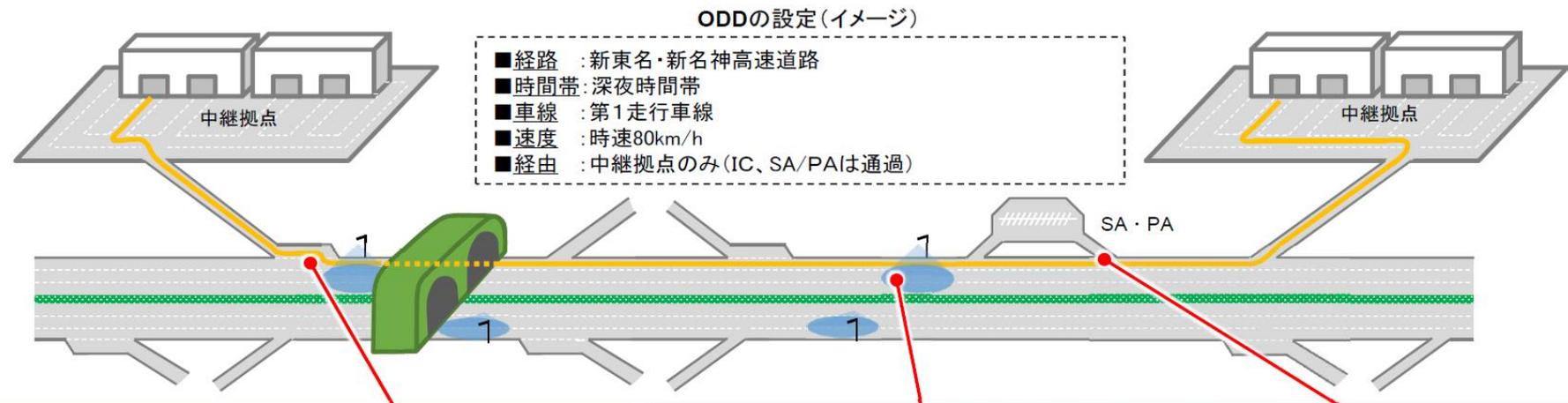


(b) RL contour lines; >14m road width 77

# 自動運転トラックの開発(インフラ支援の展開)

○ 安全確保に直結する課題を解決するため、合流支援や本線の先読み情報の提供等について順次実道での実証実験を開始し、ドライバー負担の大きい物流大動脈の中継拠点間での連続自動運転を実現。

ODD: Operational Design Domain:運行設計領域



### 合流支援

車両検知センサ  
本線車両の走行速度等を把握

路側処理装置  
合流車両に提供する情報を生成

路車間通信  
合流車両に本線車両の走行速度等の情報を提供

### 本線の先読み情報の提供等

#### <工事規制>

出典: NEXCO 中日本ドライバーズサイト

#### <交通事故>

#### <割込防止対策>

○ 車群接近時は本線進入を制止、車群間で安全に本線へ流入

#### <落下物>

出典: 一般社団法人九州地方計画協会

#### <道路気象>

# 東京都市圏物資流動調査による空間相関を 考慮した物流施設立地選択モデルの検討

兵藤 哲朗<sup>1</sup>・坂井 孝典<sup>2</sup>・河村 和哉<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 東京海洋大学教授 海洋工学部流通情報工学科 (〒135-8533 東京都江東区越中島2-1-6)  
E-mail: hyodo@kaiyodai.ac.jp

<sup>2</sup>非会員 Ph.D. Candidate, Department of Urban Planning and Policy, University of Illinois at Chicago  
(412 South Peoria Street, Room 215, MC 348, Chicago, IL 60607)  
E-mail: tsakai3@uic.edu

<sup>3</sup>非会員 Associate Professor, Department of Urban Planning and Policy, University of Illinois at Chicago  
(412 South Peoria Street, Room 215, MC 348, Chicago, IL 60607)  
E-mail: kazuya@uic.edu

首都圏では三環状高速道路ネットワークの概成が間近であり、近年、新規供用インターチェンジ (IC) 付近の大型物流施設立地が目立っている。このような物流施設立地動向を予測する有効なツールの一つが立地選択モデルであり、これまでも計画立案支援のために用いられてきた。

本研究は、最新の第五回東京都市圏物資流動調査 (2013年実施) 結果を用いて、物流施設立地選択モデルの精度向上を検討している。具体的には、空間ラグモデルと空間誤差モデルの、いわゆる空間相関を前提としたモデルを中心に、その詳細な特性把握とともに、説明力の高い分析手順について検討した。また、説明変数に、約1 km四方の3次メッシュデータを用いたことも本分析の特徴である。分析結果から、空間相関を考慮したモデルには、十分な精度向上が期待できることが確認された。

**Key Words :** *spatial location choice model, mesh data, spatial autoregressive model, logistics facility*

表-1 各種立地選択モデルの推定結果 ( )内  $t$  値

変数名	全メッシュ MNL	Binary Logit	Binary Probit
1 定数項		-23.105 (-13.0)	-10.20 (-13.0)
2 人口密度 [千人/km <sup>2</sup> ]	-0.2160 (-11.6)	-0.23809 (-11.4)	-0.10967 (-12.0)
3 ln(労働力人口 [人])	0.7774 (6.8)	0.85978 (7.1)	0.35938 (6.7)
4 ln(全製造業近接性)	0.01630 (2.2)	0.019611 (2.4)	0.009081 (2.3)
5 ln(業務地近接性)	0.5931 (9.5)	0.7411 (11.0)	0.32425 (10.6)
6 ln(最寄 IC 距離 [km])	-0.08115 (-1.4)	-0.11677 (-1.8)	-0.075355 (-2.5)
7 ln(地価 [万円])	-0.2618 (-3.0)	-0.35081 (-3.7)	-0.12792 (-2.9)
8 準工業地域シェア	2.085 (7.7)	2.518 (7.0)	1.3193 (7.1)
9 工業地域シェア	1.664 (3.5)	1.7654 (3.1)	0.90292 (3.1)
10 工業専用地域シェア	1.483 (5.2)	1.5547 (4.6)	0.88738 (5.2)
初期尤度	-3213.1	-1638.98	-1638.98
最終尤度	-2792.5	-1205.39	-1194.74
自由度調整済み尤度比	0.1281	0.2585	0.2649
サンプル数	328 メッシュ数 : 17,961	18,017	18,017

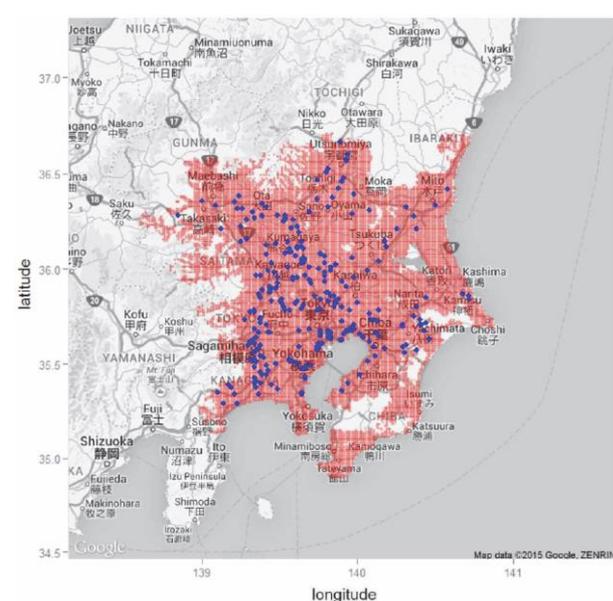


図-1 分析対象のメッシュ (赤) と物流施設 (青) の位置

空間ラグモデルは、近隣の効用項の間に相関を与える方法で、メッシュ間の空間重み行列を  $\mathbf{W}$ 、相関係数を  $\rho$ 、効用を  $\mathbf{v}$ 、説明変数を  $\mathbf{x}$  と定義し、効用関数を

$$\mathbf{v} = \rho \mathbf{W} \mathbf{v} + \mathbf{x} \boldsymbol{\beta} \quad (3)$$

としたときに、これを解いて、

$$\mathbf{v} = (\mathbf{I} - \rho \mathbf{W})^{-1} \mathbf{x} \boldsymbol{\beta} \quad (4)$$

なる効用関数を用いる方法である。一方、空間誤差モデルでは、誤差項  $\mathbf{u}$  に同様の空間相関係数  $\lambda$  と空間相関から独立な誤差項ベクトル  $\boldsymbol{\varepsilon}$  を定義して、

$$\mathbf{u} = \lambda \mathbf{W} \mathbf{u} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (5)$$

$$\mathbf{u} = (\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})^{-1} \boldsymbol{\varepsilon} \quad (6)$$

が導かれる。本分析では、この両者を同時に考慮し、確率効用関数として以下の式を採用する。

$$\mathbf{v} = (\mathbf{I} - \rho \mathbf{W})^{-1} \mathbf{x} \boldsymbol{\beta} + (\mathbf{I} - \lambda \mathbf{W})^{-1} \boldsymbol{\varepsilon} \quad (7)$$

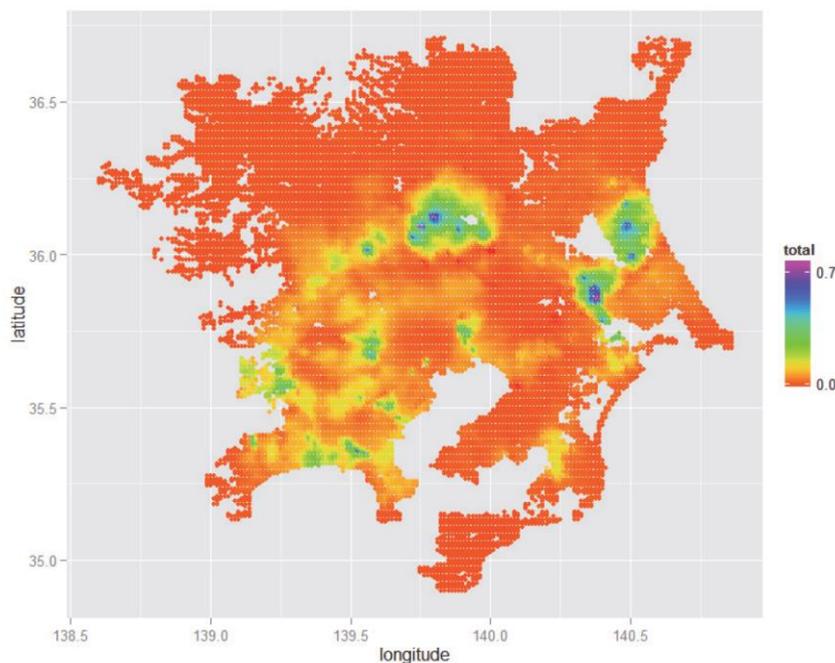


図-20 total 項の基準化値の将来 LOS による変化値の階級図

# ・2009年1月に、「Rによる離散選択モデルの推定方法メモ」を公開



## Rによる離散選択モデルの推定方法メモ

平成 21 年1月 26 日

東京海洋大学  
兵藤 哲朗

## 目 次

簡単な歴史です

1. 『LOGIT.FOR』と四半世紀.....	2
2. 一般的な最尤法によるパラメータ推定 .....	5
2.1 MNL.R.....	5
2.2 NL.R.....	7
2.3 MNP-GHK.R.....	11
3. MCMC (Markov Chain Monte Carlo) によるパラメータ推定 .....	16
3.1 MNL-MCMC.R.....	17
3.2 MNP-MCMC.R.....	21
3.3 MNL-MH.R.....	24
3.4 NL-MH.R .....	27
3.5 MOR への適用 .....	30

4. 離散選択モデルの今後の展開.....

式展開に苦勞 😊

Appendix 1 初期尤度の設定方法について

Appendix 2 使用データについて

**その後2018年に英語版で改訂**

<https://www2.kaiyodai.ac.jp/~hyodo/ChoiceModels.zip>

# **Discrete Choice Modeling by R & Biogeme**

**R: homemade (MNL, NL, MXL), mlogit, MNP**  
**Biogeme: MNL, NL, MXL, Taste Variation, CNL**

**using 5 alternatives & 1,000 samples**  
**Intercity freight data**

**May, 2018**

**Tetsuro HYODO**

hyodo@kaiyodai.ac.jp

## 日本語による前文

2009年1月に、自身のHP上で、「Rによる離散選択モデルの推定方法メモ」

[http://www2.kaiyodai.ac.jp/~hyodo/Logit\\_by\\_R.pdf](http://www2.kaiyodai.ac.jp/~hyodo/Logit_by_R.pdf)

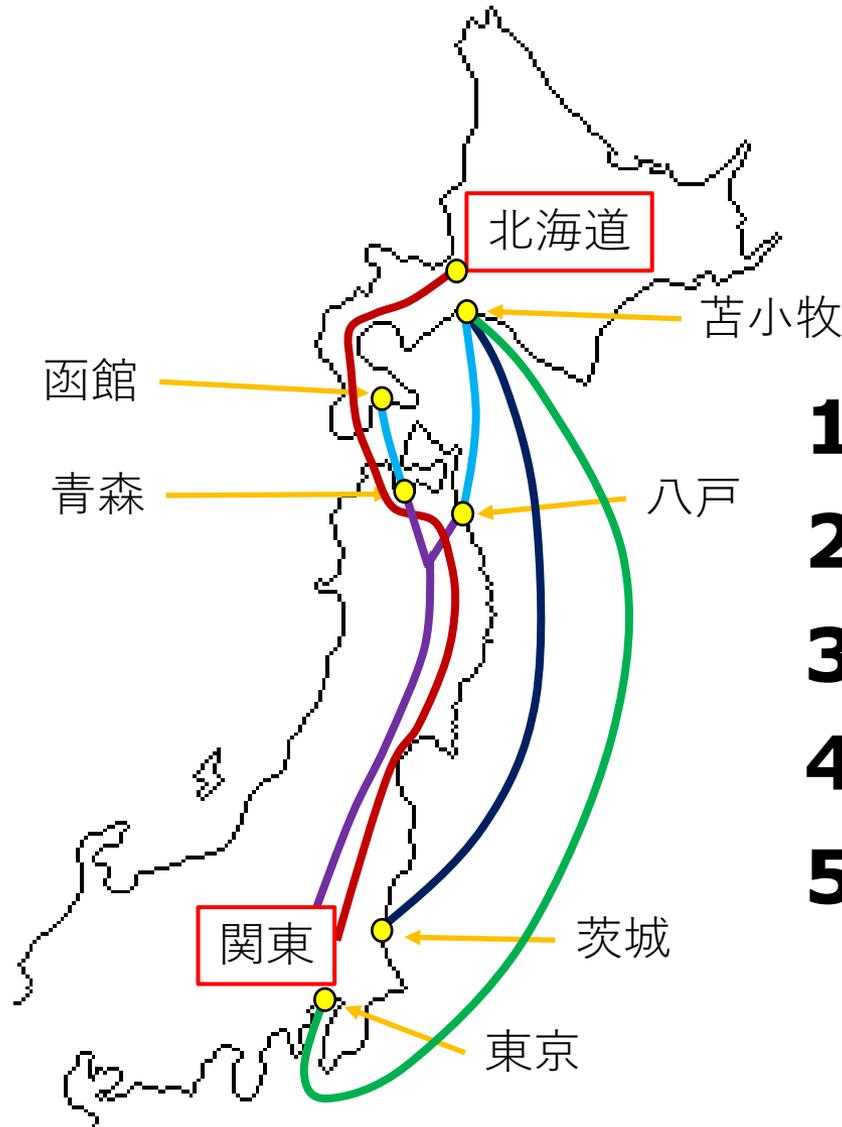
を公開し、ありがたくも何名かの方から、「役に立っています」とのお言葉を頂いた。しかし、さすがに9年が経過し、色々和不具合も目立ってきた。申し訳ないのだが、最大の問題は、最尤推定に“optim”を使用していたことで、これは特に選択肢の利用可能性がマチマチな時に正しいパラメータを導いてくれないことが判明していた。maxLikを用いれば、現時点では問題がないことが分かっている。あとはNLの記述が、現在GEV由来が主流であることか。GEV式の方が自家製コードも楽に作ることができる。

さて、2017年度の卒論で、本州－北海道間の物流センサスを用いた5経路の輸送手段選択モデルに取り組んでいた。実はこのデータが、様々な離散選択モデルのテストデータとして優れており、担当卒論生や博士課程の留学生も交えて、バリエーション多彩なモデル群を試すことになった。

そして、2018年度前期、大学院の授業で非漢字圏の修士学生を対象に、3年ぶりに英語授業をすることになった。そこで、この際、卒論で手がけた一連のモデルを、ある一つのデータ（卒論データから抽出した1,000サンプルデータ）への適用コードとして（怪しい）英語で整理することを試みた。Rによる自家製コード、mlogit, Biogeme, MNP がその構成要素である。自習可能なように、コードやデータも同梱しました。適宜、試してみてください。

種々のコード作成にご協力頂いた、佐々木葵さん（修士1年）、Seiji LIDASAN君（博士2年）に感謝申し上げます。

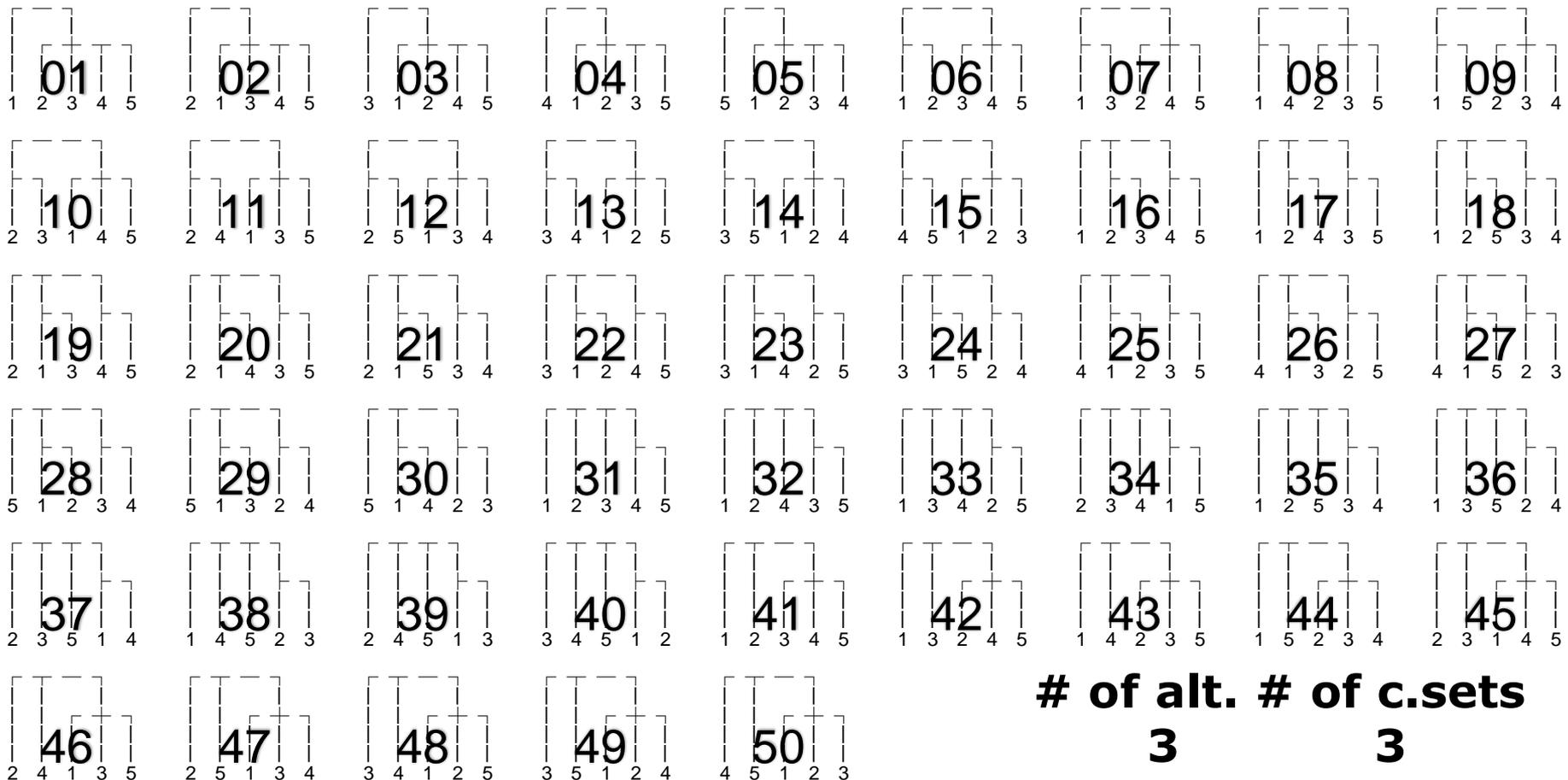
# LOS データの作成



## 対象5経路

1. 茨城港→苫小牧港
2. 東京港→苫小牧港
3. 関東→八戸港→苫小牧港
4. 関東→北海道（鉄道）
5. 関東→青森港→函館港

# If the number of alternatives is five, two strata NL has 50 choice sets.



# of alt.	# of c.sets
3	3
4	13
5	50
6	201
7	875
8	3,330 <sup>85</sup>



← **FORTTRAN program to calibrate this** →  
**result. It's very difficult to reach the**  
**answer over 8 alternatives case,**  
**because this is NP hard problem.**

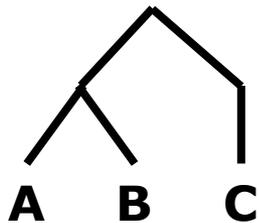
NLcount3.for

## Estimation of Nested Logit (NL):

### Derived from Generalized Extreme Value (GEV):

$$P_i = \frac{e^{V_i/\lambda_k} \left( \sum_{j \in B_k} e^{V_j/\lambda_k} \right)^{\lambda_k - 1}}{\sum_{l=1}^K \left( \sum_{j \in B_l} e^{V_j/\lambda_l} \right)^{\lambda_l}}, \quad i \in B_k$$

↓ In case of the following NL,



$$P_A = \frac{e^{\frac{V_A}{\lambda}} \left( e^{\frac{V_A}{\lambda}} + e^{\frac{V_B}{\lambda}} \right)^{\lambda - 1}}{\left( e^{\frac{V_A}{\lambda}} + e^{\frac{V_B}{\lambda}} \right)^{\lambda} + e^{V_C}} = \frac{e^{\frac{V_A}{\lambda}}}{e^{\frac{V_A}{\lambda}} + e^{\frac{V_B}{\lambda}}} \cdot \frac{e^{\lambda \ln \left( e^{\frac{V_A}{\lambda}} + e^{\frac{V_B}{\lambda}} \right)}}{e^{\lambda \ln \left( e^{\frac{V_A}{\lambda}} + e^{\frac{V_B}{\lambda}} \right)} + e^{V_C}}$$

自分で手を動かすと、色々な発見があるものです 😊

## おわりに:

- 交通計画に関わるモデラーとしては、**離散選択モデル**と**ネットワークモデル**を両輪とすべき  
→相乗効果があると思います
- 数式展開は忘れることなくマメにチャレンジしましょう  
→安易に library などに頼っているのはダメ(☹)
- 色々な所を旅しましょう  
自動車へ乗ったら窓から外をよく見よ、田や畑に何が植えられているか、育ちがよいかわるいか、村の家が大きいか小さいか、瓦屋根か草葺きか、そういうこともよく見ることだ。  
→宮本常一の父の言葉（兵藤HPで紹介しています）
- 何でも先生に聞いてみよう  
→社会人になったら簡単にはできません

# Thank you for your attention !



[logsum@gmail.com](mailto:logsum@gmail.com)  
[hyodo@kaiyodai.ac.jp](mailto:hyodo@kaiyodai.ac.jp)

@Travellers Beach Hotel, Mombasa