

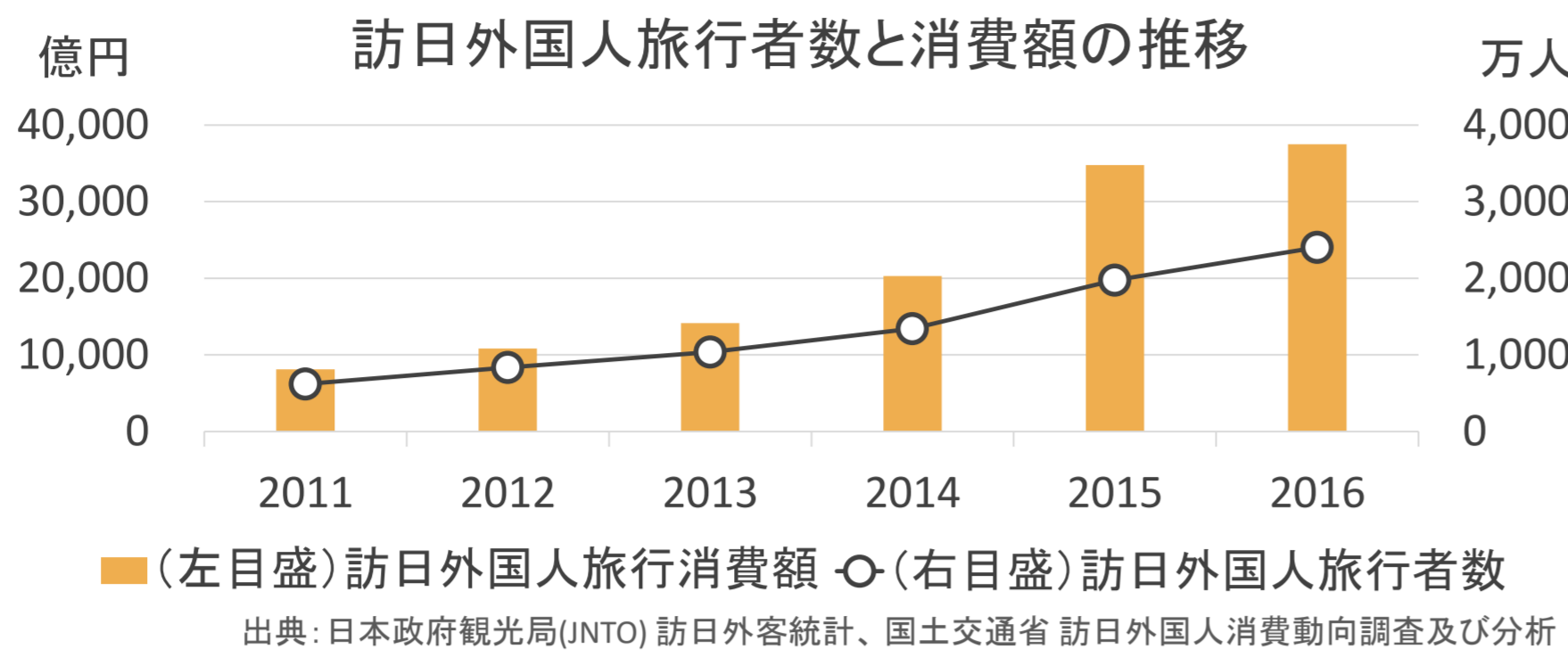
# トリップチェーンを考慮した観光周遊行動モデルに関する研究

## Development of a Tourist Excursion Behavior Model Incorporating Trip Chain

北海道大学大学院 清水 春来 加藤 哲平 内田 賢悦

### 背景と目的

- ✓ インバウンド需要の増加
- ✓ 広域周遊観光の促進
  - ・ 広域な魅力の創出
  - ・ 観光客の回遊性の向上
  - ・ 滞在期間の増加



→ 観光客の行動の把握が重要

#### □ 広域周遊観光

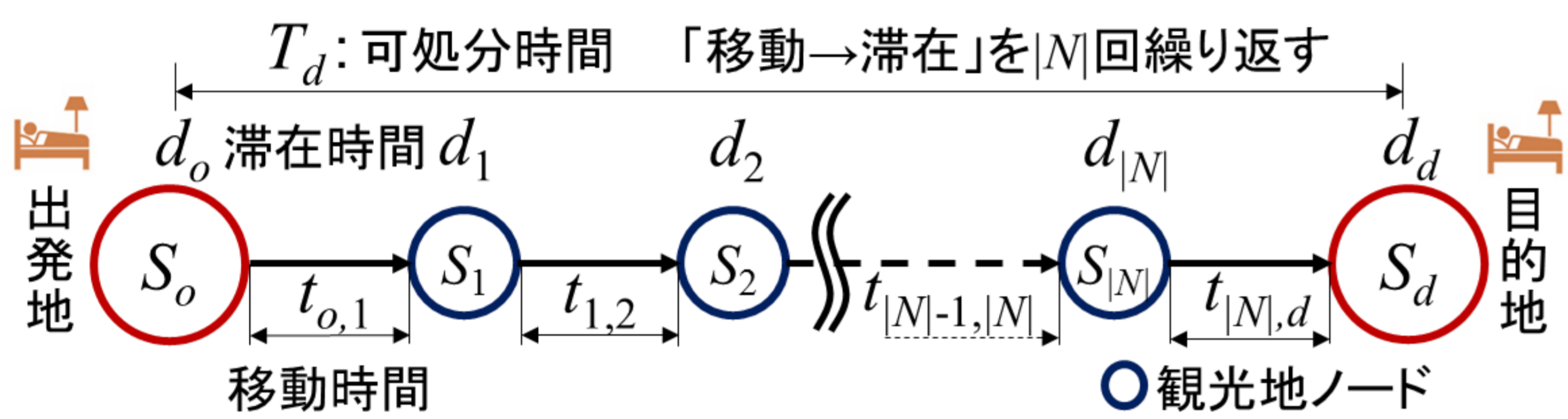
- ・ 観光地間の移動時間が大きい
- ・ 使える時間を最大限に有効活用
- ・ 1日の観光が充実するスケジュール (トリップチェーンに基づく分析の重要性)

#### □ トリップチェーンを考慮したモデルの構築

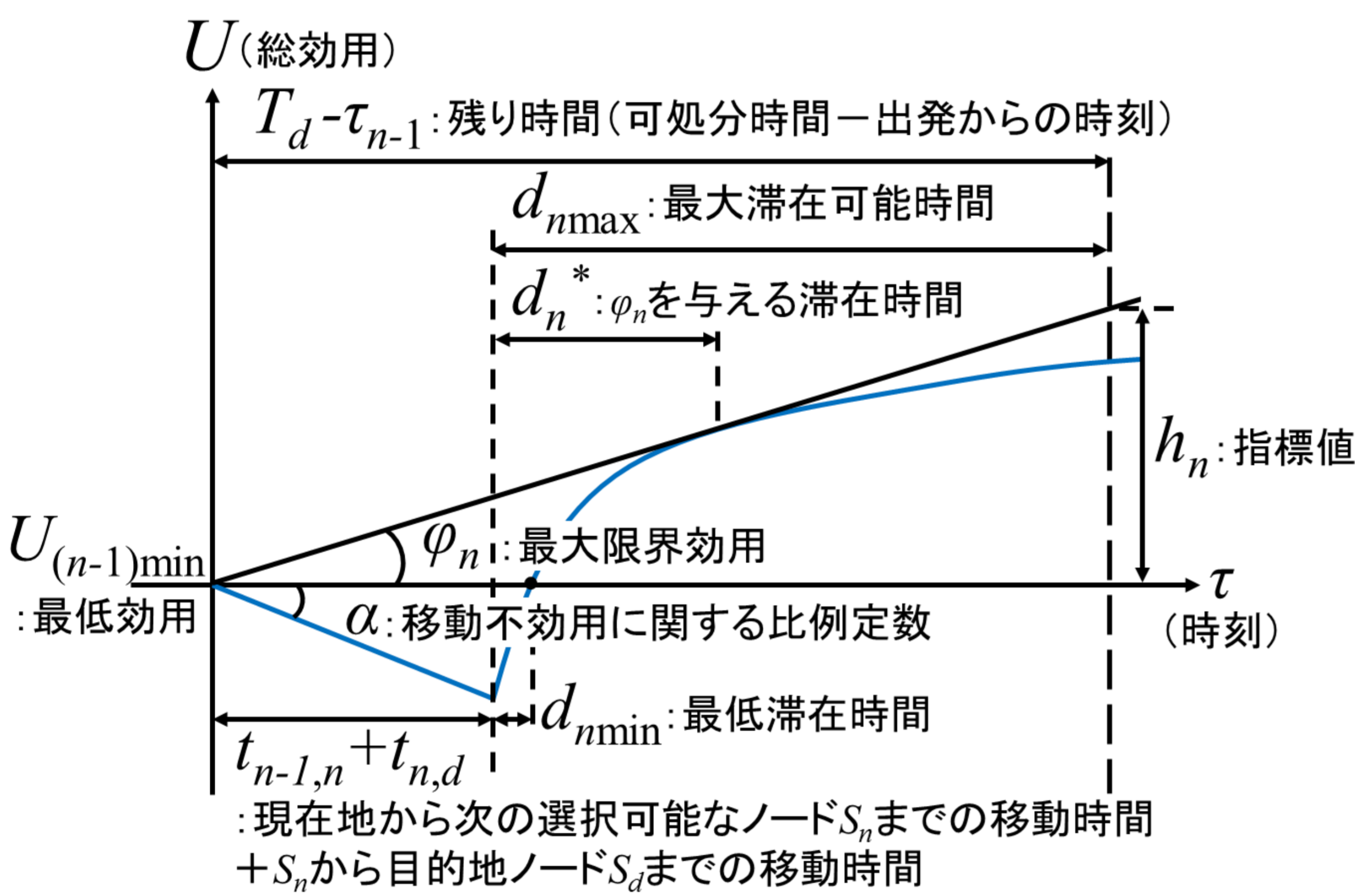
- ・ 移動時間、滞在効用及び時間制約を考慮した、妥当なトリップチェーンの抽出
- ・ 効用を最大化する滞在時間配分
- ・ 観測された行動データを用いたパラメータ推定

## トリップチェーン生成アルゴリズム

### ■ トリップチェーン(TC): 観光客の1日の行動軌跡



### ■ TC生成アルゴリズムの定式化



(1) 以下の方程式を、最低滞在時間  $d_{nmin}$  について解く。

$$\alpha(t_{n-1,n} + t_{n,d}) + u_n(d_{nmin}) = 0 \quad (n \geq 1)$$

(2)  $d_{nmin}$  を用いて、最大滞在可能時間  $d_{nmax}$  を求める。

$$\begin{cases} d_{1max} = T_d - t_{0,1} - t_{1,d} & (\text{if } n=1) \\ d_{nmax} = d_{(n-1)max} + t_{n-1,d} - d_{(n-1)min} - t_{n-1,n} - t_{n,d} & (\text{otherwise}) \end{cases}$$

ただし、 $d_{nmax} > 0$  とする。

(3) 最大限界効用  $\phi_n$  と限界効用の関係より成り立つ方程式の解  $d_n^*$  を求める。

$$\begin{cases} \phi_n = \frac{\alpha(t_{n-1,n} + t_{n,d}) + u_n(d_{nmax})}{t_{n-1,n} + t_{n,d} + d_{nmax}} & (\text{if } d_n^* > d_{nmax}) \\ \phi_n = \frac{\alpha(t_{n-1,n} + t_{n,d}) + u_n(d_n^*)}{t_{n-1,n} + t_{n,d} + d_n^*} = \frac{du_n}{dd_n} \Big|_{d_n=d_n^*} & (\text{if } d_n^* \leq d_{nmax}) \end{cases}$$

(4) 元の式に  $d_n^*$  を代入し、 $\phi_n$  を求める。

(5) ノード選択の基準となる変数  $h_n$  を求め、 $h_n$  が最大となるノードを選択する。

$$h_n = \phi_n (d_{nmax} + t_{n-1,n} + t_{n,d})$$

(6) 次の滞りで満たされるべき最低効用  $U_{nmin}$  を求める。

$$\begin{cases} U_{0min} = 0 & (n=0) \\ U_{nmin} = U_{(n-1)min} + \alpha t_{n-1,n} + u_n(d_{nmin}) & (\text{otherwise}) \end{cases}$$

$n=n+1$  として、 $n+1$  番目のノードを選択する問題を考えることができる。  
 $d_{nmax}$  が非負である限り、(2)から(6)の計算を繰り返し行う。最終的に生成される TC はアルゴリズムにより抽出されたノードの点列を分解したものである。

### ■ 数値計算における最適TCの抽出手法

- 正方向探索 (FDS)  
 $S_0$  から  $S_d$  に向かって行う計算
- 逆方向探索 (BDS)  
 $S_d$  から  $S_0$  に向かって行う計算

- 両方向探索 (TDS)
- 1. FDS及びBDSによって生成された、TCに含まれるノードとリンクから有向グラフを作成する
- 2.  $S_0$  から  $S_d$  に至る経路を列挙しTCを生成する

## 滞在時間配分モデル

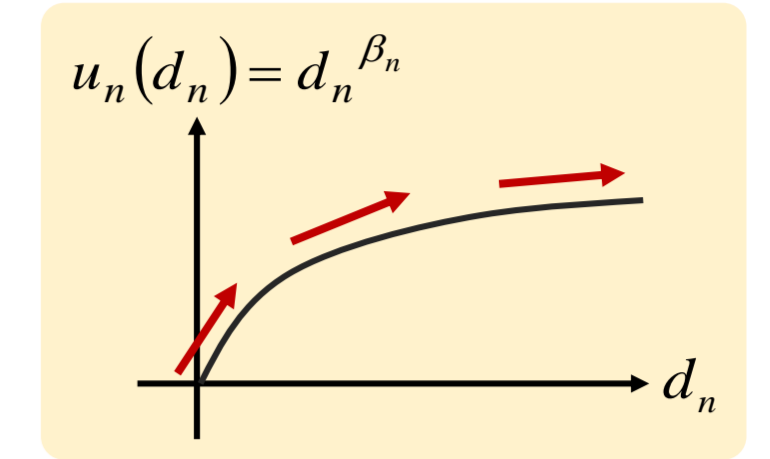
効用最大化問題 滞在時間に関する効用関数を  $u_n(d_n) = d_n^{\beta_n}$  と仮定

$$\max U(d_1, \dots, d_{|N|}) = \alpha \left\{ t_{0,1} + t_{|N|,d} + \sum_{k=1}^{|N|-1} t_{k,k+1} \right\} + \sum_{n \in N} d_n^{\beta_n}$$

移動時間による不効用 滞在時間による効用

$$s.t. \quad T_d = t_{0,1} + t_{|N|,d} + \sum_{k=1}^{|N|-1} t_{k,k+1} + \sum_{n \in N} d_n$$

$$\alpha < 0, \quad 0 < \beta_i < 1, \quad d_i \geq 0, \quad t_{i,j} \geq 0$$



ラグランジュ関数と1階の最適性条件

$$L = U(d_1, \dots, d_{|N|}) + \lambda \left( T_d - t_{0,1} - t_{|N|,d} - \sum_{k=1}^{|N|-1} t_{k,k+1} - \sum_{n \in N} d_n \right)$$

$$\frac{\partial L}{\partial d_n} = \beta_n d_n^{\beta_n - 1} - \lambda = 0 \quad (n=1, \dots, |N|) \quad \frac{\partial L}{\partial \lambda} = T_d - t_{0,1} - t_{|N|,d} - \sum_{k=1}^{|N|-1} t_{k,k+1} - \sum_{n \in N} d_n = 0$$

各ノードの限界効用が等しいという条件のもと最適滞在時間  $\hat{d}_n$  が求められる

## パラメータ推定法

観光客  $h$  がトリップチェーン  $l$  を選択する確率  $P_{hl}$

$$U_l = V_l + \varepsilon_l \quad \text{ランダム項 } \varepsilon_l \text{ が独立で同一なガンベル分布に従うと仮定する}$$

$$P_{hl} = \frac{\exp(V_l)}{\sum_{k \in L} \exp(V_k)}$$

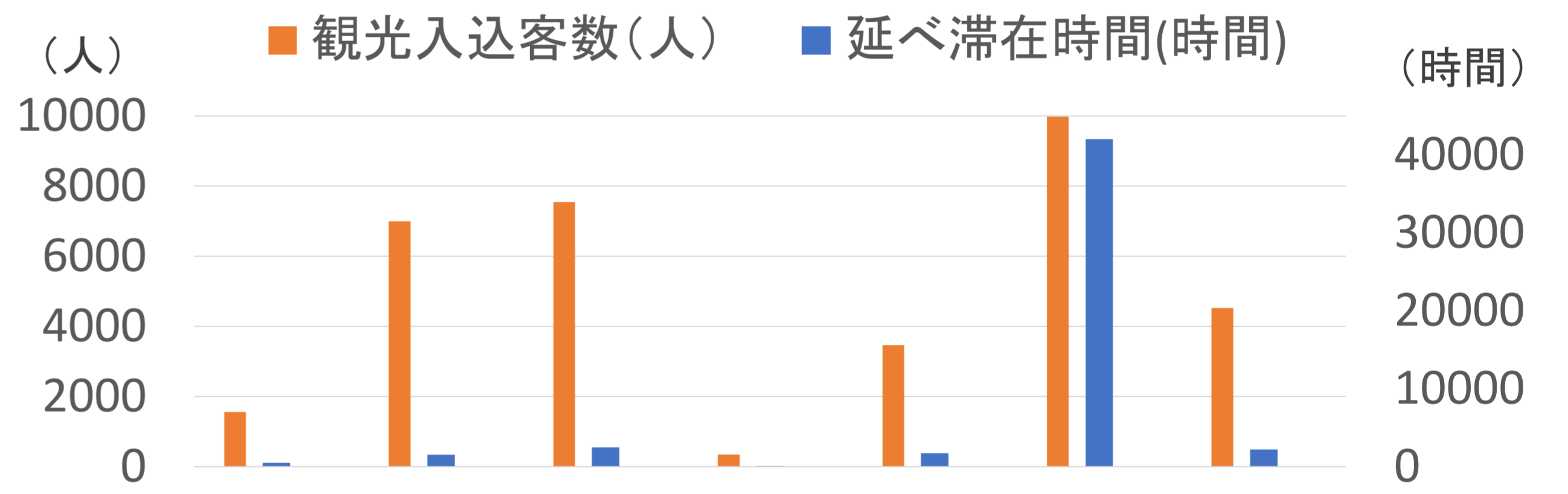
最尤推定法

$$\max L(\alpha, \beta) = \prod_{h=1}^H \prod_{l=1}^L P_{hl}^{\delta_{hl}} \quad \begin{cases} \delta_{hl} = 1 & (\text{if tourist } h \text{ choose trip chain } l) \\ \delta_{hl} = 0 & (\text{otherwise}) \end{cases}$$

$$s.t. \quad \alpha < 0, \quad 0 < \beta_i < 1, \quad V_l \geq 0$$

## 数値計算例

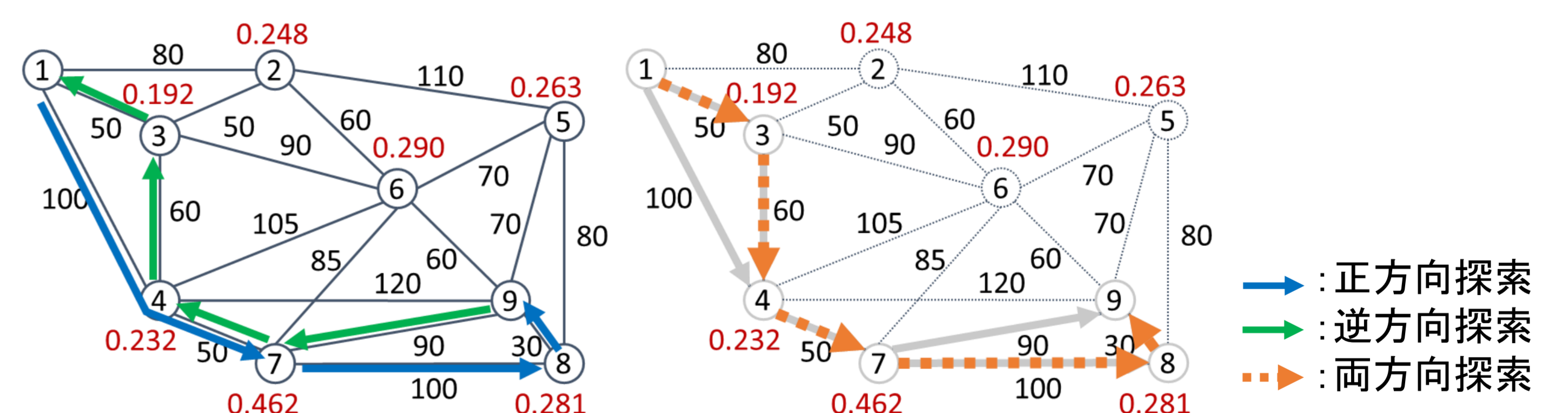
### ■ パラメータ推定と観光需要予測



ノード	2	3	4	5	6	7	8
観光入込客数(人)	1558	6998	7543	348	3465	9979	4524
延べ滞在時間(時間)	502	1543	2476	111	1724	42032	2205
$\beta_i$	0.248	0.192	0.232	0.263	0.290	0.462	0.281
$\alpha$							-0.023

OD交通量: 10000人 可処分時間: 600分

### ■ 最適TCの探索と最適滞在時間配分



Type	n	1	2	3	4	U
FDS	TC	7	8			9.897
	$\hat{d}_n$ (分)	285.5	34.5			
BDS	TC	7	4	3		12.197
	$\hat{d}_n$ (分)	311.8	22.8	15.4		
TDS	TC	3	4	7	8	12.320
	$\hat{d}_n$ (分)	13.2	19.3	246.5	30.9	

完全列挙法で求めた最適TCの解と一致

## 今後の課題

- ・ 観光需要予測における配分計算を効率的に行うための、複数の有効なトリップチェーンを生成するアルゴリズムの構築
- ・ 尤度関数が凹関数となる効用関数の再検討
- ・ 観測された実際の観光行動データに基づいたモデルの妥当性の照査
- ・ 観光消費額、一般化費用等を考慮した経済モデルへの発展
- ・ 可処分時間の異なる観光客を想定したモデルへの発展
- ・ 交通渋滞を考慮に入れた、移動時間の不確実性の導入