

ネットワーク均衡理論による観光地域の観光容量推定法の開発と適用*

Estimation of Traffic Capacity at a Sightseeing Area by Network Equilibrium Theory

溝上 章志** ・ 亀山 正博***

By Shoshi MIZOKAMI** and Masahiro KAMEYAMA***

1. はじめに

近年、週休二日制の定着から来る余暇時間の増大や所得水準の向上に伴うライフスタイルの変化、マスメディアによる観光情報サービスの充実などによって観光需要は増加している。その中でも、自家用車の持つ機動性、快適性、便利性などの理由により、その大半が自家用車による日帰り観光によって占められている。

しかし、自家用車による観光需要の増加は、騒音、排気ガスなどによる地域の生活環境悪化や、スカイラインやスーパー林道などの道路整備による自然破壊や景観破壊といった問題を引き起こしている。また、休日の観光地への過剰な自動車の流入は、観光地内や周辺地域で著しい交通渋滞を生じさせており、これらが観光行動の制約となって、当該観光地の魅力自体を低下させる大きな要因の一つとなっている。これらの問題を解決し、快適な観光行動を保障するためには、当該観光地が許容できる観光客数の入れ込み数制限や自動車の流入規制などの各種の交通需要管理が必要になると考えられる。そのためには、観光地の受け入れ可能な観光容量を推定しておく必要がある。

本研究は、観光地の観光活動の適正水準を表すのに合理的と考えられる観光容量の定義と、その値を推計する方法を提案することを目的とする。さらに、全国観光交通実態調査データを用いて阿蘇地域を対象とした観光容量の推計計算を行い、提案した定義の妥当性と本推計方法の適用可能性の検討を行う。

本稿は以下のように構成されている。2章では観光交通の特徴と観光容量の定義を行う。3章では観光容量の推計方法、および推計モデルの中に含まれる未知パラ

メータの推定方法について述べる。4章では実際に阿蘇地域を対象としてこれらの推計を行い、その結果についての考察を行う。最後に、5章で本研究の成果と今後の課題について述べる。

2. 観光地域における観光容量の定義

(1) 観光交通の特徴

通勤・通学交通や業務交通に代表される都市交通では、ODパターンは一定で時間最短経路の選択がなされるというのが一般である。これに対して、観光交通では、目的地までの経路上や観光地の混雑状況などによりODパターンは変動的であり、経路に関しても沿道の風景や走行性の良さなどがその選択要因となり、必ずしもコスト最小の経路が選ばれるとは限らないの特徴である。これは、観光が「自己の自由時間の中で、鑑賞、知識、体験、活動、休養、参加、精神の鼓舞など、生活の変化を求める人間の基本的要求を充足するための行為のうち、日常生活圏を離れて異なった自然、文化などの環境のもとでそれらを行おうとする一連の行動（総理府観光政策審議会）」であり、それを達成するための観光交通行動が日常生活とは異なるものを目的地や経路に求めたり、ドライブなど交通そのものを目的とする交通行動だからである。このような不確定な目的地・経路同時選択を再現する交通需要予測モデルとしては、確率的効用最大化行動規範に基づく需要変動型確率均衡配分モデルが有用であろう。

(2) 観光地容量推計の概念

都市圏における活動の最大許容量の指標には、「物理的、経済的、環境的などの諸限界条件の下で、ネットワーク全体として受け入れ可能な最大交通量」で定義される交通ネットワークの最大容量が用いられることが多い。このときの限界条件としては、通常、物理

* キーワーズ：観光行動、観光地容量、交通均衡分析

** 正会員 工博 熊本大学工学部環境システム工学科

(〒862-8555 熊本市黒髪2-39-1 Phone : 096-342-3541, Fax : 96-342-3507)

*** 学生会員 熊本大学大学院工学研究科

的条件, 具体的には「総トリップ数の増加に伴って交通量が交通容量を超過する道路区間が増加するために目的地へ到達不可となる OD ペアが一组でも生じる」という条件を採用している場合が多い。

これに対して, 鈴木ら^{1),2)}は観光容量設定の対象として, 面積や施設規模, 交通量, 自然環境, 駐車場数などを挙げると同時に, その容量概念について, 「自然環境容量」と「地域社会容量」の2つの概念を提示している。そのうち, 自然環境容量は「計画対象地域の自然・人文の資源と環境に関して, 生態学的・物理的・学術的な価値や機能を評価し, 計画対象地における保護・保全のゾーン区分と開発許容度を判定することによって把握される地域の受け入れ許容量」と定義している。この容量定義にもネットワークの最大容量概念を適用することは合理的であると考えられる。

自然を資源とするような観光地の観光容量の定義としては, ネットワークの最大容量概念を用いるにせよ, 環境の限界条件, たとえば自動車排出ガス中の CO や NO_x の総排出量などの許容値を限界条件として導入する必要がある。しかし, 都市域以外では大気汚染の許容値が設定されていないこともあって, ここでは都市活動の最大許容量を規定する物理的限界条件を準用する。ただし, 2.(1)で述べた観光交通の持つ特徴を考慮に入れて, 観光容量を「道路の交通状況により目的地選択需要が弾性的に変動する下で, 観光地域への流入交通量の増加に伴って, 交通量が交通容量を超過する道路区間が増加するために目的地への到達が不可となる OD ペアが一组でも生じる際の総流入交通量」と定義した。

ネットワーク最大容量の推計方法には, 1) 配分シミュレーションによる方法, 2) グラフ理論におけるカットを用いる方法, 3) 2)の LP による拡張, および 4) 利用者均衡条件下での交通ネットワーク最大容量問題による方法に分類できる。2)と 3)は数理モデルとして明快であるものの, 利用者の目的地や経路の選択行動規範や混雑問題が内性化されない。4)は理論的に優れているものの, 最近になって数学的定式化や計算手法が提案されたばかりである。これに対して, 1)は任意の交通行動規範を配分モデルを用いて内生化できることや実行内容が具体的で分かりやすいなどのメリットを持つ。そこで, 観光地容量の推計計算にも配分シミュレーションを用いることにする。このときの交通行動

規範には観光交通行動の特徴である確率的効用最大化行動規範を採用し, それを実現する需要変動型確率均衡配分法を配分モデルとして導入する。

3. 観光容量の推定方法

(1) 需要変動型確率均衡配分モデル³⁾

需要変動型確率均衡配分モデルとは, 利用者の目的地(観光スポット)選択とその経路選択という多次元の選択行動を, ランダム効用理論によって統合的に記述したネットワーク均衡モデルである。このモデルでは, 利用者は選択可能な観光スポットと交通経路の組合せ選択肢集合の中から最大の効用を与える選択肢を選ぶと仮定するもので, OD ペア od と経路 r による効用 $U(od, r)$ は以下の式で表される。

$$U(od, r) = U(od) + U(odr) \quad \forall r, o, d \quad (1)$$

ただし

$$U(odr) = -C_r^{od} + \xi_r^{od} \quad \forall r, o, d \quad (2)$$

$$U(od) = V_{od} + \varepsilon_{od} \quad \forall o, d \quad (3)$$

ここで, $U(od)$, $U(odr)$ はそれぞれ OD ペア, 経路によって変化する確率的効用であり, C_r^{od} は OD ペア od 間 r 番目経路の観測可能な交通費用, V_{od} は OD ペア od に固有の確定的効用である。一方, ξ_r^{od} は経路費用に対する利用者の認知誤差などを表す誤差項, ε_{od} は OD ペア od に固有の誤差項である。

また, o を発地とする人が目的地 d , 第 r 番目経路を選択する確率 $P(d, r|o)$ は次式で表される。

$$P(d, r|o) = P(d|o) \cdot P(r|d, o) \quad (4)$$

ここで, $P(d|o)$ はノード o を発地として目的地 d が選択される確率, $P(r|d, o)$ は OD ペア od が選択された条件下で r 番目経路が選択される確率である。

このとき, ξ_r^{od} が互いに独立で同一のガンベル分布に従うとき, r 番目経路が選択される確率 $P(r|d, o)$ は

$$P(r|d, o) = \frac{\exp[-\theta C_r^{od}]}{\sum_{r \in R_{od}} \exp[-\theta C_r^{od}]} \quad \forall r, od \quad (5)$$

で与えられる。ここで, R_{od} は OD ペア od の経路集合である。したがって, 経路交通量の期待値は, 所与の OD 交通量 q_{od} に対して

$$f_r^{od} = q_{od} \cdot P(r|d, o) = q_{od} \frac{\exp[-\theta C_r^{od}]}{\sum_{r \in R_{od}} \exp[-\theta C_r^{od}]} \quad \forall r, od \quad (6)$$

で与えられる。同様に ε_{od} が互いに独立で同一のガンベル分布に従うとすると、目的地の選択確率 $P(d|o)$ 、および OD 交通量の期待値は

$$P(d|o) = \frac{\exp[\zeta(V_{od} - S_{od})]}{\sum_d \exp[\zeta(V_{od} - S_{od})]} \quad \forall od \quad (7)$$

$$q_{od} = O_o \cdot P(d|o) = O_o \frac{\exp[\zeta(V_{od} - S_{od})]}{\sum_d \exp[\zeta(V_{od} - S_{od})]} \quad \forall od \quad (8)$$

のように与えられる。ただし、 S_{od} は期待最小経路費用であり、

$$S_{od} = -\frac{1}{\theta} \ln \sum_{r \in R_{od}} \exp[-\theta C_r^{od}] \quad \forall od \quad (9)$$

で定義される。 θ 、 ζ は各誤差項の標準偏差を表すパラメータである。また、経路費用とリンクコストとの関係、経路交通量とリンク交通量の関係は、それぞれ

$$C_r^{od} = \sum_a t_a \delta_{a,r}^{od} \quad (10)$$

$$x_a = \sum_{od} \sum_{r \in R_{od}} f_r^{od} \delta_{a,r}^{od} \quad (11)$$

である。ここで、 t_a 、 x_a はそれぞれリンク a の費用と交通量、 $\delta_{a,r}^{od}$ は OD ペア od の r 番目経路上でのリンク a の有無を表すダミー変数である。

式(6)、(8)、(10)、(11)からなる非線型連立方程式の解が需要変動型確率均衡配分交通量を与えが、これらの方程式群から、解を直接、導出することは困難であるので、以下に示す等価な最適化問題を用いて解を導く。

[P0]

$$\min. Z(\mathbf{f}, \mathbf{q}) = \sum_a \int_0^{x_a} t_a(x) dx - \frac{1}{\theta} \sum_{od} q_{od} H_{od}^{[1]} - \frac{1}{\zeta} \sum_o O_o H_o^{[2]} - \sum_{od} q_{od} \lambda_d \quad (12)$$

$$\text{subject to } O_o = \sum_d q_{od} \quad \forall o \quad (13)$$

$$q_{od} = \sum_r f_r^{od} \quad \forall od \quad (14)$$

$$f_r^{od} \geq 0 \quad \forall r, od \quad (15)$$

ただし $H_{od}^{[1]} \equiv -\sum_r \frac{f_r^{od}}{q_{od}} \ln \frac{f_r^{od}}{q_{od}}$ 、 $H_o^{[2]} \equiv -\sum_d \frac{q_{od}}{O_o} \ln \frac{q_{od}}{O_o}$ であり、 O_o は発ノード o からの発生交通量、 $t_a(x)$ はリンク

a のリンクコスト関数、 x_a はリンク a のリンク交通量である。また、 θ 、 ζ はそれぞれ先に述べた経路選択、目的地選択に対する感度パラメータ、 λ_d は目的地 d の魅力度である。この最適化問題の解が需要変動型確率均衡配分交通量を与えることは自明であるので、証明は省略する。

(2) 観光容量の推計手順

観光容量の推計計算は問題 [P0] を用いた配分シミュレーション法によって行う。計算手順を以下に示す。

Step-1: ゼロフロー時の交通量を初期値として、リンク所要時間、およびリンク速度を改訂する。

Step-2: Dial アルゴリズムの forward pass を全発ノードについて実行してリンクウェイト W^o ($\forall o$) を計算し、次式から各 OD ペアの期待最小費用 S_{od} を計算する。

$$S_{od} = C_{min}^{od} - \frac{1}{\theta} \ln \sum_{m \in I_d} W^o[m \rightarrow d] \quad (16)$$

ここで、 C_{min}^{od} は OD ペア od 間の最短経路費用、 $W^o[m \rightarrow d]$ は発ノードが o の交通に対応するリンク $m \rightarrow d$ のリンクウェイト、 I_d は d に入る全てのリンクの発ノード集合である。

Step-3: Step-2 で得られた S_{od} を用いて、式(8)より OD 交通量 q_{od} を計算する。

Step-4: Step-3 で得られた OD 交通量 q_{od} に対して、全ての発ノードから backward pass を行い、リンク交通量 x_a を計算する。

Step-5: 均衡状態に収束するまで、式(11)と(8)によりリンク交通量と OD 交通量の改訂を行う。

Step-6: 観光地域への流入交通量の増加に伴って、交通量が交通容量を超過する道路区間が増加するために目的地への到達が不可となる OD ペアが一組でも生じていれば終了し、その時点での対象地域への流入交通量を観光容量とする。そうでなければ、総トリップ数を増加させ、Step-2 に戻る。

(3) 未知パラメータの推定方法

問題 [P0] を用いて観光容量の推定計算を行うためには、経路選択と目的地選択に関する感度パラメータ θ と ζ 、および目的地の魅力度 λ_d をあらかじめ定めておく必要がある。ここでは以下の最適化問題から得られる知見を用いて各パラメータ値の推定を行う。

[P1]

$$\min. Z(\mathbf{f}, \mathbf{q}) = \sum_a \int_0^{x_a} t_a(x) dx$$

$$-\frac{1}{\theta} \sum_{od} q_{od} H_{od}^{[1]} - \frac{1}{\zeta} \sum_o O_o H_o^{[2]} \quad (17)$$

$$\text{subject to } D_d = \sum_o q_{od} \quad (18)$$

式(13)～(15)

ここで、 D_d は着ノード d への集中交通量である。問題[P0]と問題[P1]の相違点は、前者では目的地の魅力度 λ_d が既知であり、制約条件が発生量制約だけであるのに対して、後者は目的地の魅力度 λ_d が未知であり、制約条件が発生量と集中量の二重制約になっている点である。しかし、両者のラグランジュ関数が同一の形式になることから、問題[P1]の最適性条件は問題[P0]と同じになる。このとき、経路交通量 f_r^{od} とOD交通量 q_{od} は次式で表される。

$$f_r^{od} = q_{od} \frac{\exp[-\theta C_r^{od}]}{\sum_{m \in R_{od}} \exp[-\theta C_m^{od}]} \quad \forall r, od \quad (19)$$

$$q_{od} = \exp[\zeta(-S_{od} + \lambda_d^*)] \cdot \exp[\zeta \mu_o^* - 1] \\ = O_o \frac{\exp[\zeta(\lambda_d^* - S_{od})]}{\sum_d \exp[\zeta(\lambda_d^* - S_{od})]} \quad \forall od \quad (20)$$

ここで、 λ_d^* 、 μ_o^* は制約条件式(18)と(13)に対応したラグランジュ乗数である。これらの結果より、未知パラメータ θ 、 ζ 、 λ_d の推定は以下に行えばよい。

a) 経路選択に関する感度パラメータ θ の推定

経路選択に関する感度パラメータ θ は、任意のODペア od 間第 r 経路の交通費用 C_r^{od} と交通量 f_r^{od} をデータとして、式(19)を非線形最小二乗法により推定する。

b) 目的地選択に関する感度パラメータ ζ の推定

発生交通量 O_o 、集中交通量 D_d は、式(20)をそれぞれ式(13)と(18)に代入することにより、

$$O_o = \sum_d \exp[\zeta(-S_{od} + \lambda_d^*)] \cdot \exp[\zeta \mu_o^* - 1] \quad (22)$$

$$D_d = \sum_o \exp[\zeta(-S_{od} + \mu_o^*)] \cdot \exp[\zeta \lambda_d^* - 1] \quad (23)$$

のように表すことができる。ここで、

$$A_o \equiv \exp[\zeta \mu_o^*] / O_o, \quad B_d \equiv \exp[\zeta \lambda_d^*] / D_d$$

のように定義すれば、OD交通量 q_{od} は式(20)より

$$q_{od} = A_o \cdot B_d \cdot O_o \cdot D_d [-\zeta S_{od} + 1] \quad (24)$$

のように表される。この A_o 、 B_d は

$$A_o = 1 / \sum_d B_d \cdot D_d \cdot \exp[-\zeta S_{od} + 1] \quad (25)$$

$$B_d = 1 / \sum_o A_o \cdot O_o \cdot \exp[-\zeta S_{od} + 1] \quad (26)$$

なるバランシングファクターであるから、 ζ は、 q_{od} と S_{od} ($\equiv -\frac{1}{\theta} \ln \sum_r [-\theta C_r^{od}]$)であり、 θ はa)で既に推定済み)をデータとした二重制約型エントロピーモデル(24)～(26)の収束計算より、推定可能となる。

c) 目的地魅力度 λ_d の推定

目的地 d の魅力度 λ_d はラグランジュ乗数 λ_d^* に対応することから、以下のようにして推定できる。まず、OD交通量 q_{od} は、式(20)と(22)～(24)より

$$q_{od} = \exp[-\zeta S_{od} + 1] \cdot \exp[\zeta \lambda_d^* - 1] \cdot \exp[\zeta \mu_o^* - 1] \\ = A_o \cdot B_d \cdot \sum_d \exp[\zeta(-S_{od} + \lambda_d^*)] \\ \cdot \exp[\zeta \mu_o^* - 1] \cdot \sum_o \exp[\zeta(-S_{od} + \mu_o^*)] \\ \cdot \exp[\zeta \lambda_o^* - 1] \cdot \exp[-\zeta S_{od} + 1] \quad (25)$$

となるから、 A_o 、 B_d は以下のように書き換えられる。

$$A_o = 1 / \sum_d \exp[\zeta(\lambda_d^* - S_{od})] \quad (26)$$

$$B_d = 1 / \sum_o \exp[\zeta(\mu_o^* - S_{od})] \quad (27)$$

従って、 B_d が得られれば、式(23)より

$$\zeta \lambda_d^* = -\ln \sum_o \exp[\zeta(-S_{od} + \mu_o^*)] + \ln D_d + 1$$

となるから、 λ_d^* は最終的に

$$\lambda_d^* = \frac{1}{\zeta} (\ln B_d + \ln D_d + 1) \quad (28)$$

となる。つまり、 λ_d^* は ζ と B_d と同時に推定できる。

4. 阿蘇地域における観光容量の試算

(1) データの作成

前章で述べた手法を阿蘇地域の観光容量推計に適用して、その実用可能性を検討する。その際、(a) 対象地域の道路ネットワーク情報、(b) 観光スポット間実績OD交通量 q_{od} 、(c) 観光スポット間経路別費用 C_r^{od} などのデータが必要である。前述したように、 C_r^{od} は沿道風景や走行性などの要因も考慮した一般化された費用であるが、データの入手可能性の制約から、ここでは所要時間だけとしている。本研究では、全国観光交通実態調査⁴⁾のうち、阿蘇を対象地域とした観光地入り込み調査のサンプルからこれらのデータを作成した。

(a)~(c)のデータの作成に当たっては、質問Cの中の周遊経路、立ち寄り地点、各地点の到着・出発時刻などの回答値を利用する。まず、延べ約150ヶ所の立ち寄りスポットのうち、訪問頻度の高い幾つかのスポットを集約したノードと対象地域への流入ノードをセントロイドとして、ノード数53(内、セントロイド数



34), リンク数 138 からなるネットワーク (図-1 参照) を作成した. 次に, 調査票の地図上に書かれた周遊経路をネットワーク上でたどることによって, 周遊データを作成した. これより, 調査サンプルによる観光スポット間 OD 交通量とリンク交通量データが作成できる. また, 観光スポットの出発時刻と次訪問スポットの到着時刻より観光スポット間経路別所要時間を求め, これを構成リンクの距離で比例配分することによってリンク所要時間を算出している. しかし, 全 OD ペアのうちの 56.2% でトリップ数が 0 である上に, 観光スポット間所要時間データは観光スポット間総トリップ数のうちの 33.4% からしか得られないなど, 観光スポット間 OD 交通量と経路別所要時間については十分な精度のデータが得られているとはいえない.

調査地点	車線数	調査日 時間帯	天候	交通量 (台/12 時間)			
				乗用車	貨物車	その他	合計
①別府阿蘇道路 (阿蘇郡一ノ宮町)	2	1992.8.2 (日) 7:00~19:00	雨	3,963	308	1	4,272
②国道 57 号 (阿蘇郡波野村)	2		雨	3,144	1,009	0	4,153
③国道 57 号 (菊池郡大津町)	2		雨	18,897	3,943	42	22,882
④国道 325 号 (阿蘇郡長陽村)	2		雨	7,947	1,756	6	9,709

(2) 設定条件

a) 総トリップ数

未知パラメータの推定を行う前に、調査サンプルの拡大係数を求めておく必要がある。ここでは、トリップ数を実績に整合させることを目的として、プレートナンバー交通量調査が実施されている国道57号菊池郡大津町の実測交通量とこの地点に対応するリンクのリンク交通量サンプルとの比である26.18を拡大率とした。その結果、総トリップ数は69,848トリップとなった。このときの阿蘇地域への総流入トリップ数は24,007トリップである。

b) リンクコスト関数

問題[P0]を用いて観光容量の推定を行うにあたって、リンクコスト関数を設定しておく必要がある。我が国で慣用的に用いられる修正BPR関数は都市内街路を対象としたものであり、阿蘇地域のような非都市部の山地部の道路を対象として設定されたものはない。交通状況を精度よく再現するためには、分析対象地域で観測されたデータを用いてリンクコスト関数は推定されるべきである。ここでは、溝上⁵⁾によって提案されている方法を簡略化した以下のような方法を用いた。

この方法は、以下の2つの基本仮定を置いている。

- ①単位時間内に走行する車両のリンク所要時間は確率変数であり、その分布は時間帯ごとに独立である。
- ②交通量の24時間変動パターンは日交通量の大きさに無関係に一定である。

また、単位距離のリンク a 上を時間帯 i に走行する車両の所要時間の平均値 $\bar{t}_{ai}$ がBPR型のリンクコスト関数で、分散 s_{ai}^2 が $s_{ai}^2 = s_{a0}^2(\bar{t}_{ai})$ で表されると仮定すると、日単位の所要時間の平均 $\bar{t}_a$ 、および分散 s_a^2 は

$$\bar{t}_a = t_{a0} \left[1 + \alpha \left\{ Q_a / q_{a0} \cdot \left(\sum_{i=1}^{24} \eta_{ai}^{\beta+1} \right)^{-1/\beta} \right\}^\beta \right]$$

$$s_a^2 = \sum_{i=1}^{24} \eta_{ai} \left[s_{a0}^2(\bar{t}_{ai}) + \bar{t}_{ai}^2 \right] - \bar{t}_a^2$$

で表される。ここで、 α, β は推定されるべきパラメータ、 t_{a0} はリンク a のゼロフロー時所要時間、 q_{a0} は時間帯 i の時間交通量、 q_{a0} は時間可能交通容量、 Q_a は日交通量、 $\eta_{ai}(=q_{ai}/Q_a)$ は時間係数である。

いま、リンク所要時間が平均 $\bar{t}_a$ 、分散 s_a^2 の確率変数であり、これらがリンクごとに独立と仮定できるとすれば、リンク a を一日に走行する車両のうちの m 番目

実測所要時間サンプル t_a^m が得られたときの尤度 L は

$$L = \prod_a \prod_m f(t_a^m | \bar{t}_a, s_a^2) \quad (29)$$

となる。したがって、未知パラメータ α, β は式(29)を最大にする最尤推定量として求められる。

ただし、今回は η_{ai} がリンクごとに観測されていないため、観測されているリンクの η_{ai} をすべてのリンクに適用した。また、 s_a^2 も適切な固定値としている。所要時間サンプル t_a^m には、前節で作成したリンク所要時間データを用いている。推定の結果得られたパラメータ値は、 $\alpha=0.223$ 、 $\beta=1.246$ となり、修正BPR関数と比べて両者ともかなり小さいものとなった。これらの妥当性については別途、検討を要するが、ここでは検証の手段がないのでこのままの値を使用する。

(3) 観光容量の推計結果とその考察

観光容量の推定に必要なパラメータ θ, ζ, λ_d のうち、経路選択感度パラメータ θ については、経路選択に関する十分なデータが得られなかったため、利用者が最短経路以外の経路にもばらつく傾向を再現させるように、ここでは $\theta=0.020$ という比較的小さい値を外生的に与えている。一方、目的地選択感度パラメータ ζ 、各観光スポットの魅力度 λ_d の推定値は、それぞれ $\zeta=-0.0077$ 、および表-2に示す結果となった。これらの推定値を[P0]に適用して解いた均衡時のOD交通量と実績OD交通量を対比したのが図-2である。両者の相関係数は0.823、F値は1071.8であり、推定精度はかなり高いといつてよい。このことは、[P0]から得られる均衡交通量は現況の交通状況を良く再現でき、観光容量の推計計算に[P0]を利用することの妥当性を示している。ただし、 ζ は本来は正の値をとると考えられるにもかかわらず、符号が逆転している。そのために、実際は集中交通量が多く、経験的にも魅力度が高いと思われる草千里や阿蘇山頂などの観光魅力度が、他よりも低いという矛盾が生じることとなった。これは、観光目的地選択は目的地までの経路の走行性や沿道風景などにも影響を受けると考えられるにもかかわらず、ここではこれらの要因を経路費用の構成要因として導入していないことが主要な原因と考えられる。事実、必ずしも所要時間の短いODペア間の交通量が所要時間の長いODペア間の交通量よりも多くはなっていないことが、実際のデータからも確認できる。

表-2 観光スポット魅力度の推定値

観光スポット名	魅力度	観光スポット名	魅力度
小国町	704.5	阿蘇猿回し劇場	462.5
黒川温泉	551.7	草千里	292.5
三愛レストハウス	501.1	仙酔峡	606.8
阿蘇 SL 展望所	685.2	栃木温泉	601.9
大観望	405.9	湯の谷温泉	608.9
エル・パティオ牧場	643.5	阿蘇山頂	317.7
産山村	760.7	南阿蘇休暇村	559.1
兜岩展望所	777.1	垂玉温泉	650.6
内牧温泉	555.2	俄山峠	672.7
赤水温泉	690.7	GP 南阿蘇	570.1
阿蘇熊牧場	446.7	白川水源	490.2
JR 阿蘇駅	647.9	高森駅	668.2
阿蘇神社	656.4		

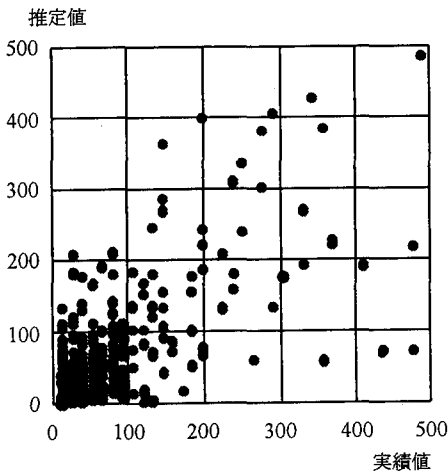


図-2 OD 交通量の実績再現性

これらのパラメータの値を用いて観光容量の推計計算を行った結果、総トリップ数が70,549のときにネットワーク容量を定義する制約条件を満足しなくなることになった。これは、現況よりわずか701トリップの増加にすぎない。しかし、調査が最多客期に行われており、当日は観光容量に近い入れ込みがあったと考えることができることから、推計結果は適当な値であるといえるであろう。このときの阿蘇地域への総流入トリップ数は24,248トリップであり、この値がネットワ

ーク容量の視点からみた阿蘇地域の観光容量であり、経験的にも妥当な値が得られているといえる。また、到達不可になったのは阿蘇山頂に接続した両リンクの交通量が交通容量を超過したためであり、これも予想された結果である。

5. おわりに

本研究では、1) ネットワーク最大容量を用いた観光容量の定義、2) この観光容量推計のための需要変動型確率均衡配分モデルによる配分シミュレーション法の提案、3) 推定計算を行う上で必要な感度パラメータ、および目的地の魅力度の推定方法の提案を行った。さらに、4) 阿蘇地域における観光容量の試算を行った結果、経験的にも妥当と思われる推計値が得られたことから、提案した観光容量の定義の適用可能性や観光容量推計手法の実用可能性は、ある程度、検証されたといえよう。

しかし、理論面では以下のような課題を残している。

- 1) たとえ観光容量の定義にネットワーク最大容量概念を適用するにしても、分析対象観光地に特有の自然や人文の資源と環境に対して規定されるべき適切な限界条件を設定し、モデルに導入する必要がある。また、
- 2) 阿蘇地域における観光容量の試算では、目的地選択に関する感度パラメータ値の符号が期待される符号と逆になるなどの結果が生じた。これは、入手可能な調査データとモデルとの間の精度に差があるためと考えられ、両者の整合をどのように図るか検討を要する。

一方で、本手法の実用化に向けては、

- 3) 拡大率の算出方法
 - 4) 入れ込み過剰による混雑で観光スポット自身の魅力度が低下することへの対応、
 - 5) 勾配やカーブを考慮に入れた山地部におけるリンクコスト関数の設定
 - 6) 観光スポットの集約化
 - 7) 沿道風景や走行性などの考慮
- などが、今後、実証的に解決されるべき課題である。

参考文献

- 1) 鈴木忠義, 毛塚宏, 永井護, 渡辺貴介: 土木工学大系 30 ケーススタディ 観光・レクリエーション計画, 彰国社,

- 1984.
- 2) 鈴木忠義編：現代観光論（新版），有斐閣，1988.
- 3) 赤松隆：各種静的均衡配分法の理論と適用可能，交通ネットワークの分析手法－実務と理論研究の接点－，土木学会土木計画学ワンデイセミナーテキスト，シリーズ4，pp.75-99，1994.
- 4) 建設省土木研究所道路部新交通研究室編：土木研究所資料全国観光交通実態調査，1994.
- 5) 溝上章志，松井寛，可知隆：日交通量配分に用いるリンクコスト関数の開発，土木学会論文集，第401号/IV-10，pp.99-107，1989.

ネットワーク均衡理論による観光地域の観光容量推定法の開発と適用*

溝上章志・亀山正博

近年の観光需要の増加に伴い，観光地域では環境破壊や交通渋滞といった数々の問題が生じ，それらが観光行動の制約となり，観光地の魅力自体を低下させる大きな要因の一つとなっている．これらの問題を解決し，快適な観光行動を保障するために，観光地によっては流入制御や経路誘導などの各種の規制を行う必要が生じている．本研究では，観光地における観光活動の適正水準を表すいくつかの観光容量の定義を提案し，その値の推計方法として，変動需要型確率均衡配分モデルによる配分シミュレーション法を提案した．さらに，実際に阿蘇地域を対象として観光容量の推計計算を行い，提案した推計方法の妥当性の検証と観光容量の定義のあり方についての考察を行った．

Estimation of Traffic Capacity at a Sightseeing Area by Network Equilibrium Theory

By Shoshi MIZOKAMI and Masahiro KAMEYAMA

There are some sightseeing areas that the environmental disruption and traffic congestion occur by increase of sightseeing demands. These phenomenon decrease the attraction of itself. To guarantee the comfortable sightseeing for guests, the measures like a demand control and route guidance may be needed. In this paper, we define the capacity of the sightseeing area which represents the suitable sightseeing activity level. We propose its estimation method using the traffic assignment simulation based on the stochastic network assignment model with elastic demands, and examine its applicability.