

ネットワーク均衡理論による観光地域の観光地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、余暇時間の増大やライフスタイルの変化、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おり、しかもその主要な交通手段は自家用車である。しかし、自家用車による観光の増加は、自然破壊や景観破壊、交通渋滞といった問題を引き起こし、それらが観光地の魅力自体を低下させる要因の一つともなっている。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、今後、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。このとき、観光地が許容できる最大入れ込み数、いわゆる観光地容量をあらかじめ推計しておく必要がある。

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、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を提案する。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う。

2. 観光地容量の定義とその推計の方法

(1) 観光交通の特徴

観光交通は日常生活とは異なるものを求めようとするために生じる交通である。それ故に、通勤・通学や業務交通に代表される都市交通が、ODパターンは一定であり、時間最短となる経路が選択される

という特徴を持つのに対して、観光交通ではODパターンは道路や観光地の混雑状況などにより変動的であり、その経路に関しても沿道風景や走行性の良さ等がその選択要因となり、必ずしも時間最短経路が選ばれるとは限らないという特徴を持つ。これは交通状況や観光地の混雑状況に応じてドライバーが効用最大となる目的地と経路を確率的に選択するという規範に従って行動しているといえよう。

(2) 観光地容量推計の概念

都市活動の最大許容量の指標としては、「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。通常、限界条件としては物理的条件、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。しかし、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、同じ最大容量概念を用いるにせよ、環境的限界条件、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。いずれにせよ、観光地容量にもネットワークの最大容量概念を踏襲することは合理的である。

一方、このネットワーク最大容量の推計計算方法は、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、交通問題の本質である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

* 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

*** 学生員、熊本大学大学院工学研究科土木環境工学専攻

(〒860 熊本市黒髪 2-39-1 TEL 096-342-3541 FAX 096-342-3507)

が提案されたばかりである。これに対して、1)は配分シミュレーション手順によって結果が異なるとか、計算回数がかなり増大するなどの欠点はあるものの、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、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、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必要がある。

3. 観光地容量の推定方法

(1) 需要変動型確率均衡配分モデル

配分シミュレーションに用いる需要変動型確率均衡配分モデルとは、利用者の目的地選択と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示したネットワーク均衡モデルである。このモデルは目的地 d の魅力度 λ_d が既知のとき、発生交通量のみを制約とする以下の最適化問題[P0]¹⁾で数式化できる。

$$\begin{aligned}
 & \text{[P0]} \\
 & \min. Z(f, q) = \sum_a \int_0^{x_a} t_a(x) dx - \frac{1}{\theta} \sum_{od} q_{od} H_{od}^{[1]} \\
 & \quad - \frac{1}{\zeta} \sum_o O_o H_o^{[2]} - \sum_{od} q_{od} \lambda_d \\
 & \text{subject to} \quad O_o = \sum_d q_{od} \quad \forall o \\
 & \quad q_{od} = \sum_r f_r^{od} \quad \forall od \\
 & \quad f_r^{od} \geq 0 \quad \forall r, od
 \end{aligned}$$

$$\text{ただし } H_{od}^{[1]} = - \sum_r \frac{f_r^{od}}{q_{od}} \ln \frac{f_r^{od}}{q_{od}}, H_o^{[2]} = - \sum_d \frac{q_{od}}{O_o} \ln \frac{q_{od}}{O_o}$$

ここで、 f_r^{od} は od 間の r 番目経路の経路交通量、 q_{od} は od 間の OD 交通量、 O_o は発ノード o からの発生交通量、 t_a 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 は経路選択に対する感度パラメータ、 ζ は目的地選択に対する感度パラメータである。この最適化問題の解が必要変動型確率均衡配分交通量を与えることは、その Kuhn-Tucker 条件より

$$q_{od} = O_o \frac{\exp[\zeta(\lambda_d - S_{od})]}{\sum_d \exp[\zeta(\lambda_d - S_{od})]} \quad \forall od$$

$$f_r^{od} = q_{od} \frac{\exp(-\theta C_r^{od})}{\sum_r \exp(-\theta C_r^{od})} \quad \forall r, od$$

なる関係が得られることが明らかである。ここで

$$S_{od} \text{ は期待最小経路費用で } -\frac{1}{\theta} \ln \sum_r \exp[-\theta C_r^{od}], \quad C_r^{od}$$

は均衡時の od 間の r 番目経路の交通費用である。

(2) 未知パラメータの推定方法

最適化問題 [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 、 ζ および目的地の魅力度 λ_d をあらかじめ求めておく必要がある。そのため、ここでは次の最適化問題 [P1] を考える。

$$\begin{aligned}
 & \text{[P1]} \\
 & \min. Z(f, q) = \sum_a \int_0^{x_a} t_a(x) dx - \frac{1}{\theta} \sum_{od} q_{od} H_{od}^{[1]} - \frac{1}{\zeta} \sum_o O_o H_o^{[2]} \\
 & \text{subject to} \quad D_d = \sum_o q_{od} \quad \forall d \\
 & \quad O_o = \sum_d q_{od} \quad \forall o \\
 & \quad q_{od} = \sum_r f_r^{od} \quad \forall od \\
 & \quad f_r^{od} \geq 0 \quad \forall r, od
 \end{aligned}$$

ここで、 D_d は着ノード d への集中交通量である。

[P0] と [P1] は前者が目的地の魅力度 λ_d が既知であり、発生交通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、発生交通量と集中交通量の二重制約型になっている点異なる。しかし、[P0] と [P1] のラグランジュ関数が同様の形式になることから2つの問題は等価となる。従って、[P1] の最適性の必要十分条件は [P0] と同じとなり、目的地の魅力度 λ_d は集中交通量制約のラグランジュ乗数 λ_d^* として求まる。この性質を用いて以下の方法で [P0] の未知パラメータの推定を行う。

(a) 経路選択感度パラメータ 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 間の r 番目経路交通量 f_r^{od} とその費用 C_r^{od} が既知であれば、以下のような最小二乗法により推定可能である。

$$\min_{\theta} F(\theta) = \sum_{od} \sum_r \left(f_r^{od} - q_{od} \frac{\exp[-\theta C_r^{od}]}{\sum_{m \in R_{od}} \exp[-\theta C_m^{od}]} \right)^2$$

(b) 目的地選択感度パラメータ ζ の推定

q_{od} と S_{od} のデータさえあれば、以下のような二重制約型エントロピーモデルの収束計算より推定できる。

$$q_{od} = A_o \cdot B_d \cdot O_o \cdot D_d \cdot \exp[-\zeta S_{od} + 1]$$

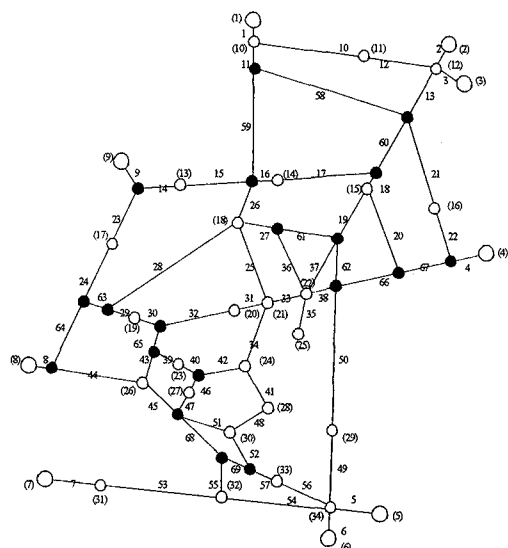
$$A_o = \frac{1}{\sum_d B_d \cdot D_d \cdot \exp[-\zeta S_{od} + 1]}$$

$$B_d = \frac{1}{\sum_o A_o \cdot O_o \cdot \exp[-\zeta S_{od} + 1]}$$

(c) 目的地 d の魅力度 λ_d の推定

目的地の魅力度 λ_d はラグランジュ乗数 λ_d^* に等しいことから、以下の式より推定できる。

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



(注) ○がセントロイド(観光スポット)であり、表-1に対応している。

図-1 ネットワーク図

4. 阿蘇地域の観光地容量の試算

(1) データの作成

阿蘇地域を対象にして観光地容量の推定計算法を適用する。そのためには、対象地域の道路網ネットワーク、現況の観光スポット間 OD 交通量、観光スポット間経路別所要時間などのデータが必要となる。そこで、平成4年度に実施された全国観光交通実態調査のうち、阿蘇を対象地域とした観光地入り込み調査データを用いてこれらのデータを作成した。

まず、観光スポットのうち立ち寄り頻度の高いものなどをセントロイド(複数観光スポットを集約化した観光スポットと対象地域への流出入ノード)として、セントロイド数 34 (表-1 参照)、ノード数 53、リンク数 138 からなるネットワークを作成した(図-1 参照)。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でたどり、周遊データを作成した後、観光スポット間 OD 交通量とリンク交通量を集計した。また、発ノード出発時刻と着ノード到着時刻の差より観光スポット間経路別所要時間を求め、これをリンク距離で比例配分することでリンク所要時間の値も算出した。

(2) 設定条件

調査サンプルから得られたトリップ数を実際のトリップ数に拡大するために、プレートナンバー交通量調査から得られた国道 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の比から、拡大率 26.18 を求めた。その結果、現実のトリップ数は 69,848、対象地域への流入トリップ数は 24,007 となった。

リンクコスト関数には BPR 関数を用いるが、阿蘇地域のような非都市部で山地部の道路区間を対象としたパラメータ推定がなされた例はない。ここでは、先に求めたリンク所要時間データを用いて溝上の方法⁴⁾を簡略化した方法により、パラメータ推定を行ったところ、 $\alpha = 0.22365$ 、 $\beta = 1.2469$ という値を得た。

(3) 観光地容量の推定結果とその考察

図-2 は、現況の集中交通量と問題 [P0] による集中交通量の予測値との関係を表したものである。両者の相関係数は 0.991 であり、相関性は高く、配分シミュレーションに用いる [P0] の予測値が現況を良く再現できるということを表している。これより

観光地容量の推計計算に[P0]を利用することの妥当性が検証された。

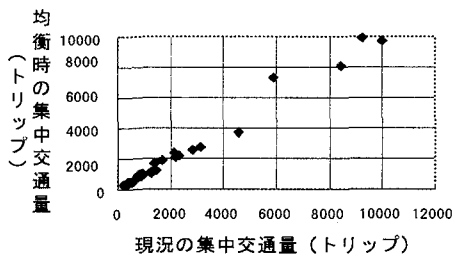


図-2 集中交通量の相関関係

観光地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 は、経路に関する十分なデータが得られなかったもので、ここでは利用者が多くの経路にばらつく傾向を再現させるように、 $\theta = 0.020$ という値を与えた。また、目的地選択感度パラメータ ζ と観光スポットの魅力度 λ_d は推定の結果、 $\zeta = -0.0077$ 、 λ_d は表-1のような値を得た。 ζ は本来は正の値をとるはずであり、この符号の違いにより、実際は集中交通量が多く、感覚的にも魅力度が高いと思われる草千里、阿蘇山頂などの魅力度が他よりも低いという矛盾を生じることとなった。

表-1 観光スポット名と魅力度 λ_d の推定結果

番号	名称	魅力度	番号	名称	魅力度
1	至 日田・福岡	504.3	18	内牧温泉	555.2
2	至 湯布院・別府	341.9	19	赤水温泉	690.7
3	至 竹田	531.2	20	阿蘇くま牧場	446.7
4	至 竹田	598.2	21	JR阿蘇駅	647.9
5	至 高千穂	578.9	22	阿蘇神社	656.4
6	至 御船・五ヶ瀬	684.1	23	猿回し劇場	462.5
7	至 熊本空港	621.1	24	草千里	292.5
8	至 大津	282.9	25	仙臺峽	606.8
9	至 菊池	473.7	26	栃木温泉	601.9
10	小国町	704.5	27	湯の谷温泉	608.9
11	黒川温泉	551.7	28	阿蘇山頂	317.7
12	三愛ハウス	501.1	29	南阿蘇国民休暇村	559.1
13	阿蘇ゆいライン展望所	685.2	30	垂玉温泉	650.6
14	大観峰	406.9	31	猿山峠	672.7
15	エルパティオ牧場	643.5	32	グリーンピア南阿蘇	570.1
16	産山村	760.7	33	白川水源	490.2
17	兜岩展望所	777.1	34	高森駅	668.2

これらのパラメータの値を用いて阿蘇地域の観光地容量の推計を行った。今回は限界条件としては物理的条件のみを採用している。その結果、現況の 69,848 トリップをわずかに 1.009 倍した 70,477 トリップの時点で限界条件に制約されることとなった。これは、現況からわずかに 629 トリップ増加させただけであるが、データ収集時期が多客期であり、既に容量寸前であったと考えることもできるので、適当な値に近いといえるかもしれない。このときの阿蘇地域への流入トリップ数は 24,223 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地容量である。

5. おわりに

本研究では、①観光地容量の定義、②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を用いた観光地容量の推定方法の提案、③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、④阿蘇地域における観光地容量の試算とその考察を行った。

観光地容量の定義に関しては環境的限界条件の導入の必要性を述べたものの、具体的な条件を提示することができず、観光地らしい的確な定義を与えることができなかった。また、阿蘇地域における容量の試算においてはパラメータ値の符号が逆になるなど実用化に向けていくつかの課題を残している。今後は観光地容量推定技法、整合した調査手法の開発とともにこれらの解決が望まれる。

参考文献

1) 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、P 75～99、1994

2) 土木学会：第 18 回土木計画学講習会テキスト 交通ネットワークの分析と計画 最新の理論と応用、1987

3) 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

4) 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 P99～107、1989. 1

5) 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. 2