旅行日数の整数性を考慮した旅行費用法による観光地の質改善便益計測：バイアスと修正方法

河野 達仁[1]・佐藤 友恵[2]

[1]正会員　東北大学大学院情報科学研究科（〒980-8579 仙台市青葉区青葉6-3-9）
E-mail:kono@plan.civil.tohoku.ac.jp

[2]　北陸ガス株式会社　(〒950-8748　新潟県新潟市中央区東大通1丁目2番23号)
TEL：025-245-2211

旅行費用法は，観光地の質などの非市場財の便益評価方法の１つであり，その簡便性から多用されている．ここで，観光旅行については，日帰りだけでなく宿泊旅行も一般的である．従来の旅行費用法では，宿泊日数を連続変数として扱ってきた．しかし，実際には旅行日数は１，２，３泊などのように整数の値しかとれない．そこで本研究は，旅行日数の整数性を考慮した旅行費用法の必要性，および，その方法を示すことを目的とする．具体的には，旅行日数の整数性が，従来の旅行費用法での計測にバイアスを生じさせることを示し，そのバイアスの修正方法について検討する．

Key Words : *旅行費用法，時間離散制約，宿泊旅行*

1.　はじめに

旅行費用法とは非市場財の便益評価方法の１つであり，その簡便性から多用されている．例えば観光地の質を評価する場合は，観光地までの旅行費用を支払ってまでも訪問する価値があるか否かという観点から，その価値を評価する方法である．具体的には，市場が存在しない環境財の代理市場（財の価値の変化を反映する市場：観光地の場合は訪問回数）の消費者余剰分を環境財の価値としている．

この単純な旅行費用法について，いくつかの問題点が指摘されてきた (Phaneuf and Smith, 2005; 大野，2000). 例えばJohansson(1987)は，複数目的旅行者の旅行費用分割の困難性，時間の機会費用推定の困難性を指摘し，Freeman(2003)は代替施設の考慮，レクリエーション地の混雑を考慮した旅行費用法を研究している．

しかし旅行日数の整数制約に関しては，これまで取り扱われてこなかった．実際の観光行動をみると，自宅から訪問先への旅行時間の違いによって，旅行日数は変わってくる．例えば，京都市における観光では，近郊の旅行者は日帰りで旅行できるものの，関東からの旅行者は日帰りでは目的観光地を周遊しきれず，宿泊をする．このように，一般的には旅行時間が長くなる程，旅行日数は増えていく．この旅行日数の変化は離散的であり，1日増加するごとに旅行時間が24時間と大きく増加する．このような整数制約は，旅行者の行動制約である．したがって，旅行費用法も本来はこの制約を考慮した方法にすべきである．

旅行ごとの宿泊数が多ければ，宿泊数は連続変数として近似が可能かもしれない．しかしながら，国土交通省の平成19年度宿泊旅行統計調査によれば，国内全体の宿泊旅行において同一施設における一人当たり平均宿泊数は1.28泊と，旅行日数が少ない．また平成17年度の京都市観光調査では，宿泊旅行者のうち1泊57.5%，2泊：30.6%，3泊以上：約12%とあるように，旅行日数がせいぜい3泊であり，その多くは1泊である．そのため，旅行日数を連続変数として扱うことには無理があると考えられる．

そこで，本研究は旅行日数の整数制約を考慮した旅行費用法の必要性，および，その方法を示すことを目的とする．具体的には，旅行日数を整数として扱った場合，従来の旅行費用法での計測にバイアスを生じることを示し，そのバイアスの修正方法について検討する．

2.　旅行日数の整数制約を課した旅行費用法

ここでは，簡単化のために旅行回数を１回とする．また，効用関数は，観光旅行時間を除く余暇時間lに関す

る準線形効用関数を仮定している．なお，この仮定は本質的でなく，便益指標として EV（等価変分）や CV（補償変分）をとり，需要関数としてヒックスの需要関数を用いれば，準線形効用関数でなく一般的な効用関数であっても以下の分析結果に変化はない．また，旅行へ割く時間が，全体の時間に対して多くなければ，準線形効用関数の仮定には妥当性がある．

居住地から目的観光地域までの旅行時間はt_0であり，居住地を出発してから帰ってくるまでを１回の旅行とする．旅行パターン例は図１のように示される．旅行者が決定する変数は，旅行日数n，訪問観光地数k，観光旅行中の余暇時間を除く余暇時間l，労働時間T_w，価格 1 の合成財消費に関する効用$S(X)$，旅行の有無を示すダミー変数$\delta \in \{0,1\}$である．そして，式(1)に示すように訪問観光地数k, 余暇時間l ,合成財Xからなる効用uを，一般化所得制約と，行動制約の下で最大にする．

$$
\begin{aligned}
v(n,t_0,t_i,\overline{T}_t,p_0,p_i) &= \max_{\delta,k,n,l,T_w,X} \quad \delta U(k)+S(X)+l \\
s.t. \quad M &= X+wl+\delta\left(p_0 t_0+\sum_{i=1}^{k} p_i\right)-\delta wn\overline{T}_t \qquad (1) \\
n\overline{T}_t &= \left(t_0+\sum_{i=1}^{k} t_i\right)
\end{aligned}
$$

ただし，v：間接効用関数，$\overline{T}_t$：1 日当たり旅行時間，p_0：単位旅行時間当たり旅行費用，t_i, p_i：各観光地での滞在時間，費用，w：賃金率，M：所得である．

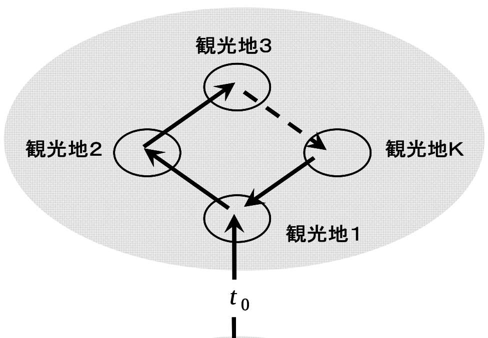

図１　観光地域における周遊旅行

はじめに旅行日数を連続変数n_Cとする場合を考える．観光地全体に対する旅行者の便益$B(n_C)$は，効用差$\Delta V(n_C)$から便益式(2)のように計測される．ここで，効用差$\Delta V(n_C)$はある旅行時間t_0における旅行者が，旅行のみによって得る効用を表す．（式(2)の導出は，補遺１に示した．）

$$
\begin{aligned}
B(n_C) &= -\int_{t_0}^{\hat{t}_{0(C)}} \frac{\partial \Delta V(n_C)}{\partial t_0} dt_0 \\
&= (p_0+w)\left(\hat{t}_{0(C)}-t_0\right)
\end{aligned} \qquad (2)
$$

$\Delta V(n_C)=wv(\delta=1:t_0)-wv(\delta=0)$．また，$\hat{t}_{0(C)}$は旅行回数が0回になる旅行時間（チョークプライス）を示す．

求めた$B(n_C)$と図１で表した従来の旅行費用法と比較をする．従来の旅行費用法では消費者余剰の面積が便益に一致していた．便益式(2)は，まさに消費者余剰の面積を意味しており，旅行日数が連続変数の場合は，従来の旅行費用法が正しい便益を表すことがわかる．

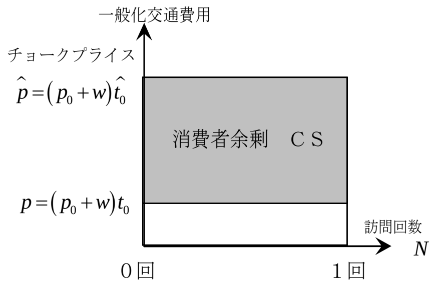

図２　従来の旅行費用法による便益計測

この結果を Proposition 1 としてまとめておく．

Proposition 1 (旅行日数が連続的な場合における従来の旅行費用法の有用性). *旅行日数を連続とした場合の便益$B(n_C)=(p_0+w)\left(\hat{t}_{0(C)}-t_0\right)$は，消費者余剰の面積と一致する．すなわち旅行日数が連続的に選択できる場合には，従来の旅行費用法が利用できる．*

次に旅行日数の整数制約を考慮する．整数制約について図３を用いて説明する．

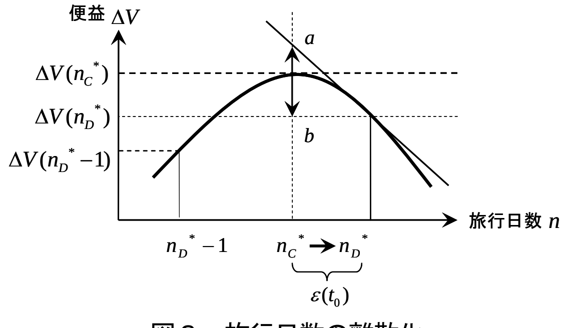

図３　旅行日数の離散化

連続変数として最適な旅行日数が$n_C{}^*$であるとき，旅行日数の整数制約にある消費者は，その付近の整数の旅行日数２つのうち，より高い効用が得られるような旅行

日数 n_D^* を消費者は選択する．つまり，$\Delta V(n_D^*) > \Delta V(n_D^* - 1)$ が成立する．離散制約有無の旅行日数の差分は $\varepsilon(t_0) = n_C^* - n_D^*$ で表される．このとき $\varepsilon(t_0)$ は $-1 < \varepsilon(t_0) < 1$ である．したがって旅行日数をの整数制約を考慮したときの最適値は $n_D^* = n_C^* + \varepsilon(t_0)$ と表される．

旅行日数が整数性を持つとき，観光地全体に対する旅行者の便益 $B(n_D)$ は，効用差より式(3)のように表される．

$$B(n_D) = V(\delta = 1 : t_0) - V(\delta = 0) \equiv \Delta V(n_D)$$

$$\Delta V(n_D) = wU(k(n_D, t_0)) - \left(p_0 t_0 + \sum_{i=1}^{k(n_D, t_0)} p_i \right) - w\overline{T}_t n_D \tag{3}$$

３．旅行日数の整数性によるバイアス

３節では，旅行日数の整数制約の追加によって生じるバイアスを，その符号および大きさ別に，理論的に検討する．４節では，そのバイアスを数値的に検討する．

3.1 バイアスの符号

従来の旅行費用法を用いる場合のバイアスの大きさ $B(n_D) - B(n_C)$ は，式(2)と(3)を代入した後，式(4)に示すように展開できる．

$$\begin{aligned}
&B(n_D) - B(n_C) \\
&= \Delta V(n_D) - (p_0 + w)(\hat{t}_{0(D)} - t_0) \\
&= \{\Delta V(n_D) - \Delta V(n_C)\} - (p_0 + w)(\hat{t}_{0(D)} - t_0) + (p_0 + w)(\hat{t}_{0(C)} - t_0) \\
&(\because \Delta V(n_C) = (p_0 + w)(\hat{t}_{0(C)} - t_0)) \\
&= \underbrace{\{\Delta V(n_D) - \Delta V(n_C)\}}_{\text{(i)}} + \underbrace{(p_0 + w)(\hat{t}_{0(C)} - \hat{t}_{0(D)})}_{\text{(ii)}}
\end{aligned} \tag{4}$$

式(4)の最後の等式はバイアスの大きさがｉ）１項目の離散制約前後での効用差 $\Delta V(n_D) - \Delta V(n_C)$ と，ⅱ）２項目のチョークプライス差 $(p_0 + w)(\hat{t}_{0(C)} - \hat{t}_{0(D)})$ で説明できることを示している．そこで，ｉ)とⅱ)のそれぞれが整数制約追加による旅行日数の変化によってどのような影響を受けるのかをみる．

ｉ)のバイアスの符号については，Proposition 2 が成立する．証明は，補遺２に示した．

Proposition 2 (旅行日数の整数制約が効用に与える負のバイアス). *離散制約による旅行日数の差分 $\varepsilon(t_0)$ がどのような大きさ，符号であろうと，旅行日数の整数性を考慮したとき，連続の場合と比べて効用は必ず小さくなる．*

すなわち，ｉ)のバイアスについては $\Delta V(n_D) - \Delta V(n_C) < 0$ が成立する．これは，整数性という制約が加わるため，効用増分が減少するという当然の結果を示している．

ⅱ)のバイアス（離散制約有無のチョークプライス差 $(p_0 + w)(\hat{t}_{0(C)} - \hat{t}_{0(D)})$ については，Proposition 3 が成立する．（導出は，補遺３に示した．）

Proposition 3 (旅行日数の離散化がチョークプライスに与える負のバイアス). *旅行時間 $\hat{t}_{0(D)}$ における，旅行日数の整数制約追加による最適旅行日数の差分 $\varepsilon(\hat{t}_0)$ の大きさ，符号によらず，旅行日数を離散的に扱った場合は，連続の場合と比べてチョークプライスは必ず小さくなる．*

すなわち，旅行日数を離散とした場合の旅行回数が 0 回になるような旅行時間 $\hat{t}_{0(D)}$ において，離散制約による旅行日数の差分 $\varepsilon(\hat{t}_0)$ がどのような大きさ，符号であろうと，旅行日数の離散化によって，ⅱ)の符号は正になる．

3.2 バイアスの大きさ

ここで，旅行日数の整数制約追加による旅行日数の変化は $-1 < \varepsilon(t_0), \varepsilon(t_0^*) < 1$ と小さい．そこで，１階近似法によりバイアスの大きさを式(5.a),(5.b)のように近似する．

$$\text{ｉ)}\ \Delta V(n_D) - \Delta V(n_C) \approx \overline{T}_t w\left[\lambda(n_D, t_0) - 1\right]\varepsilon(t_0) \tag{5.a}$$

$$\text{ⅱ)}\ (p_0 + w)(\hat{t}_{0(C)} - \hat{t}_{0(D)}) \approx -\overline{T}_t w\left[\lambda(n_D, \hat{t}_{0(D)}) - 1\right]\varepsilon(\hat{t}_0) \tag{5.b}$$

ただし，それぞれの近似した値は，２階微分の性質より過大推計となる（参照：図２の線分 ab ）．ここで，ラグランジュ乗数 λ を含んだ $w\lambda$ は，総旅行時間の追加に対する支払意思額を表す．$\varepsilon(t_0), \varepsilon(\hat{t}_0)$ はそれぞれ，ある旅行時間 t_0，旅行日数を離散とした場合の旅行回数が 0 回になるような旅行時間 $\hat{t}_{0(D)}$ における整数制約追加による旅行日数の変化を表す．これらはすべて，旅行者に対するアンケート調査により観察できる．

$w\lambda$ は，総旅行時間の追加に対する支払意思額を表す．これは，アンケート質問において，「あと１時間旅行できるとしたらいくらまで支払いますか．」という質問を設けることで，その値を観察することができる．

また，式(5.a), (5.b)に含まれる $\varepsilon(t_0)$ は，ある旅行時間 t_0 における旅行日数の整数制約追加による最適旅行日数の差分，$\varepsilon(\hat{t}_0)$ は旅行日数の離散化を考慮したとき

に，旅行回数が 0 回になるような旅行時間$\hat{t}_{0(D)}$における差分である．これらは，アンケート質問において，「本来なら何時間の旅行時間が必要でしたか．」という質問を設けることで，その値を観察することができる．

なお，1 階近似により推計したバイアス値は過大推計となることに注意すると，ｉ），ⅱ）それぞれのバイアスの絶対値の上限値として計測できる．

４． 数値計算による分析

ここでは，数値計算によって，今までの理論分析結果を確認する．

ｉ）旅行日数が連続の場合は，従来の旅行費用法が有用である（Proposition 1）．

ⅱ）旅行日数の整数制約追加により，バイアスが生じる（式(4)）．

ⅲ）旅行日数の整数制約追加により効用は小さくなる（Proposition 2）．

ⅳ）旅行日数の整数制約追加により，旅行回数が 0 回になる旅行時間が小さくなる（Propsotion 3）．

ｖ）バイアスは，旅行日数の整数制約追加の効用差とチョークプライス差から構成される（式(4)）．

数値計算では，ある旅行者を想定する必要があるので，効用関数を特定化する．特定化にあたっては，訪問観光地数に関する対数関数として次のように設定した．

$$U(k) = \alpha \ln(k+1), \quad S(X) = \beta \ln(X)$$

そのうえで，数値計算した結果を表１に示す．パラメータは次のように設定した．

$$t = 4, p_0 = 3000, p_i = 1000, \overline{T_t} = 16, w = 3000, \alpha = 30$$

表 1 から，旅行日数を連続的に扱う場合には，効用差から求める便益が，従来方法での計測による便益と一致することがわかる．一方，旅行日数を離散的に扱う場合には，効用差から求める便益(B1)が，従来方法での計測による便益(B2)と一致せずに，バイアスが生じることがわかる．

また，真の便益/従来方法による便益で表される値から，旅行日数の整数制約を考慮することにより，過大評

表１　バイアスの計算

パラメータ：$t = 4, p_0 = 3000, p_i = 1000, \overline{T_t} = 16, w = 3000, \alpha = 30$

旅行時間t_0	Ⅰ:旅行日数を連続変数とする場合				Ⅱ:旅行日数を離散変数とする場合					
	旅行日数	訪問数	便益 ΔV	従来方法による便益	旅行日数	訪問数	便益 ΔV（B1）	従来方法による便益(B2)	バイアス (B1)−(B2)	真の便益/従来方法による便益 (B1)/(B2)
0	1.5	5.9	97137	97137	2	8.0	93750	93422	329	1.00
1	1.5	5.9	91137	91137	2	7.8	88465	87422	1043	1.01
2	1.6	5.9	85137	85137	2	7.5	83106	81422	1684	1.02
3	1.7	5.9	79137	79137	2	7.3	77669	75422	2248	1.03
4	1.7	5.9	73137	73137	2	7.0	72150	69422	2728	1.04
5	1.8	5.9	67137	67137	2	6.8	66542	63422	3121	1.05
6	1.9	5.9	61137	61137	2	6.5	60841	57422	3420	1.06
7	1.9	5.9	55137	55137	2	6.3	55040	51422	3619	1.07
8	2.0	5.9	49137	49137	2	6.0	49132	45422	3710	1.08
9	2.0	5.9	43137	43137	2	5.8	43109	39422	3687	1.09
10	2.1	5.9	37137	37137	2	5.5	36962	33422	3541	1.11
11	2.2	5.9	31137	31137	2	5.3	30682	27422	3261	1.12
12	2.2	5.9	25137	25137	2	5.0	24258	21422	2837	1.13
13	2.3	5.9	19137	19137	2	4.8	17678	15422	2256	1.15
14	2.4	5.9	13137	13137	2	4.5	10927	9422	1506	1.16
15	2.4	5.9	7137	7137	2	4.3	3991	3422	569	1.17
a:15.6	2.5	5.9	3716	3716	3	8.1	0	0	0	0
16	2.5	5.9	1137	1137						
b:16.2	2.5	5.9	0	0						

a: 旅行日数を離散的に扱う場合における，旅行回数が 0 回になる旅行時間$\hat{t}_{0(D)}$

b: 旅行日数を連続的に扱う場合における，旅行回数が 0 回になる旅行時間$\hat{t}_{0(C)}$

価になっていることがわかる．ただし，これはパラメータ設定によるものであり，過小評価になる数値例も確認できている．

このように，旅行日数の整数制約追加によるバイアスは大きい．したがって，旅行日数の整数制約追加を考慮する必要性が高いことがわかる．

次に，表１と同じパラメータを用いて，バイアスの構成要素に分解する．式(4)は，バイアスが，ⅰ）１項目の$\Delta V\left(n_D\right)-\Delta V\left(n_C\right)$の離散制約有無の効用差と，ⅱ）２項目の$\left(p_0+w\right)\left(\hat{t}_{0(C)}-\hat{t}_{0(D)}\right)$のチョークプライス差で説明できることを示している．そこで，ⅰ）とⅱ）を表２に計算した．

表２より，ⅰ）とⅱ）の和がバイアスと一致しているので，バイアスが効用差とチョークプライス差の二つの要素から構成されていることがわかる．さらに，Proposition 2, 3 で示したように，ⅰ）効用差$\Delta V\left(n_D\right)-\Delta V\left(n_C\right)$の符号は常に負，ⅱ）チョークプライス差$\left(p_0+w\right)\left(\hat{t}_{0(C)}-\hat{t}_{0(D)}\right)$の符合は常に正であることがわかる．

また，表２には，ⅰ）とⅱ）を式(5a)および(5b)で一次近似した計測値も示した．表２からもわかるように，１階近似によりそれぞれの近似した値は過大推計となっていることがわかる．これは２階微分の性質によるものである．つまり，１階近似では，バイアスの真値を計測することはできない．しかし，近似により求めたそれぞれの値は，バイアスの絶対値の上限値であるので，旅行日数の離散化による便益のバイアスの程度を計測することが可能である．

５．まとめ

本研究では得られた主要な結果は次の二つである．

・旅行日数を連続的に扱う場合には従来の旅行費用法に対応できる．しかしながら，旅行回数は整数しかとれないことを考慮すると，従来の旅行費用法では便益計測結果にバイアスが生じる．

・旅行日数の整数制約を考慮したときの便益のバイアスについては，一階近似を用いると，バイアスの絶対値の上限値を計測できる．

補遺１．式(2)の導出

効用最大化問題を解く．第一段階として旅行日数n以外の変数を最適化し，第二段階として旅行日数nを最適化する．ダミー変数δの選択に関しては，最後に行う．

Ⅰ：第一段階　旅行日数n以外の変数の最適化

制約式をlについて解いたものを，目的関数に代入し，さらに時間価値wを乗じて金銭換算した効用は次式となる．

表２　バイアスの構成要素

旅行時間t_0	旅行日数の差分ε	バイアス	バイアスの構成要素		バイアスの1階近似	
			ⅰ）効用差	ⅱ）チョークプライス差	ⅰ）効用差	ⅱ）チョークプライス差
0	0.52	329	−3387	3716	−6231	6811
1	0.46	1043	−2673	3716	−4959	6811
2	0.39	1684	−2031	3716	−3803	6811
3	0.33	2248	−1468	3716	−2774	6811
4	0.27	2728	−988	3716	−1885	6811
5	0.21	3121	−595	3716	−1147	6811
6	0.14	3420	−296	3716	−577	6811
7	0.08	3619	−97	3716	−192	6811
8	0.02	3710	−6	3716	−11	6811
9	−0.04	3687	−29	3716	−58	6811
10	−0.11	3541	−175	3716	−358	6811
11	−0.17	3261	−455	3716	−942	6811
12	−0.23	2837	−879	3716	−1846	6811
13	−0.29	2256	−1459	3716	−3111	6811
14	−0.36	1506	−2210	3716	−4787	6811
15	−0.42	569	−3147	3716	−6931	6811
a：15.6	0.55	0	−3716	3716	−6811	6811

$$V(n) \equiv \max_{\delta,k,l,T_w,X} \begin{array}{l} \delta wU(k) + wS(X) + w\overline{T} \\ -\left\{X + \delta\left(p_0 t_0 + \sum_{i=1}^{k} p_i\right)\right\} - \delta wn\overline{T_t} \end{array}$$

$$s.t. \quad \delta wn\overline{T_t} = \delta w\left(t_0 + \sum_{i=1}^{k} t_i\right)$$

ラグランジュ関数と，一階条件は以下のようになる．

$$V(n) \equiv L = \delta wU\left(k\right) + wS\left(X\right) + w\overline{T} -$$
$$\left\{X + \delta\left(p_0 t_0 + \sum_{i=1}^{k} p_i\right)\right\} - \delta wn\overline{T_t} + \lambda\delta w\left\{n\overline{T_t} - \left(t_0 + \sum_{i=1}^{k} t_i\right)\right\}$$

$$\frac{\partial L}{\partial k} = \delta w\left\{\frac{\partial U\left(k\right)}{\partial k} - \frac{1}{w}\frac{\partial}{\partial k}\sum_{i=1}^{k} p_i - \lambda\frac{\partial}{\partial k}\sum_{i=1}^{k} t_i\right\} = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial X} = w\frac{\partial S\left(X\right)}{\partial X} - 1 = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = \delta w\left\{n\overline{T_t} - \left(t_0 + \sum_{i=1}^{k} t_i\right)\right\} = 0$$

最後の式より $k^* = k^*\left(n, t_0, t_i, \overline{T_t}\right)$ である．ただし，$t_i, \overline{T_t}$ の関数であることは，以降使わないので $k^* = k^*\left(n, t_0\right)$ と表す．これは，旅行日数 n を与件としたときには，訪問観光地数 k が旅行日数 n の関数であることを示している．

Ⅱ：第二段階　旅行日数 n の最適化

次に，$k^* = k^*\left(n, t_0\right)$ を代入した間接効用関数を旅行日数 n に関して最適化する．

$$\max_{\delta,n} \begin{array}{l} V(n) = \delta wU\left(k^*\left(n, t_0\right)\right) + wS(X^*) + w\overline{T} \\ -\left\{X^* + \delta\left(p_0 t_0 + \sum_{i=1}^{k^*(n,t_0)} p_i\right)\right\} - \delta w\left(t_0 + \sum_{i=1}^{k^*(n,t_0)} t_i\right) \end{array}$$

効用最大化の一階条件

$$\frac{\partial V}{\partial n} = \delta w\left(\begin{array}{c} \dfrac{\partial U\left(k^*\left(n, t_0\right)\right)}{\partial k^*} \\ -\dfrac{1}{w}\displaystyle\sum_{i=1}^{\partial k^*(n,t_0)/\partial k^*} p_i - \displaystyle\sum_{i=1}^{\partial k^*(n,t_0)/\partial k^*} t_i \end{array}\right)\frac{\partial k^*}{\partial n} = 0$$

これより $n^* = n^*\left(k^*, p_{n^*}, t_{n^*}, w\right)$．この時，最適な旅行日数は制約条件より以下のように表せる．

$$n^* = \left(t_0 + \sum_{i=1}^{k^*} t_i\right) \Big/ \overline{T_t} \text{ .}$$

旅行日数の整数制約を考慮するにあたり，旅行日数が連続変数である場合における便益値が必要となる．したがってここでは，旅行日数を連続変数 n_C として扱い，便益を求める．

ある旅行時間 t_0 の旅行者における金額換算された効用は次式で表される．

$$V\left(n_C\right) = \delta wU\left(k\left(n_C, t_0\right)\right) + wS\left(X\right)$$
$$+ w\overline{T} - \left\{X + \delta\left(p_0 t_0 + \sum_{i=1}^{k(n_C,t_0)} p_i\right)\right\} - \delta w\overline{T_t} n_C$$

次は，内生変数であるダミー変数 δ の選択について考える．ある旅行時間 t_0 の旅行者の効用を $V\left(\delta = 1 : t_0\right)$，旅行回数が 0 回である場合の効用を $V\left(\delta = 0\right)$ として表す．このとき，ある旅行時間 t_0 の旅行者は，$V\left(\delta = 0\right)$ より $V\left(\delta = 1 : t_0\right)$ が大きい場合には，旅行回数 1 回を選択する．このときの効用は次式で表される．

$$V\left(\delta = 1 : t_0\right) = wU\left(k\left(n_C, t_0\right)\right) + wS\left(X\right)$$
$$+ w\overline{T} - \left\{X + p_0 t_0 + \sum_{i=1}^{k(n_C,t_0)} p_i\right\} - w\overline{T_t} n_C$$

一方，旅行時間 t_0 が $\hat{t}_{0(C)}$ まで長くなるにつれ，効用は小さくなっていき，旅行時間が $t_0 = \hat{t}_{0(C)}$ となるところで効用が $V\left(\delta = 1 : t_0\right) = V\left(\delta = 0\right)$ となる．この場合，旅行時間 $\hat{t}_{0(C)}$ の旅行者は旅行回数 0 回を選択する．このときの効用関数は次式で表される．

$$V\left(\delta = 0\right) = wS(X) + w\overline{T} - X$$

ここで，旅行費用法に必要なチョークプライスを求める．旅行回数が 0 回になる旅行時間 $\hat{t}_{0(C)}$ において，効用は $V\left(\delta = 1 : \hat{t}_{0(C)}\right) = V_C\left(\delta = 0\right)$ となる．したがって旅行時間 $\hat{t}_{0(C)}$ は次式を満たす．

$$V_C(\delta = 1 : \hat{t}_{0(C)}) = V_C\left(\delta = 0\right)$$

$$\Leftrightarrow V_C(\delta = 1 : \hat{t}_{0(C)}) - V_C\left(\delta = 0\right) = 0$$

$$\Leftrightarrow wU\left(k\left(n_C, \hat{t}_{0(C)}\right)\right) - \left(p_0 \hat{t}_{0(C)} + \sum_{i=1}^{k\left(n_C, \hat{t}_{0(C)}\right)} p_i\right)$$
$$- w\overline{T_t} d_C = 0$$

これより，旅行回数が0回になるような一般化交通費用は $\hat{p}_{(C)}=\left(w+p_0\right)\hat{t}_{0\,(C)}$ となり，一般にこの値がチョークプライスと定義される．

次に便益を求める．便益は効用差から求められる．

$$B\left(n_C\right)=V(\delta=1:t_0)-V(\delta=0)$$

この効用差を $\Delta V\left(n_C\right)\equiv V(\delta=1:t_0)-V(\delta=0)$ と定義する．

$$\begin{aligned}B\left(n_C\right)&=\Delta V\left(n_C\right)\\&=wU\left(k\left(n_C,t_0\right)\right)-\left(p_0t_0+\sum_{i=1}^{k\left(n_C,t_0\right)}p_i\right)-w\overline{T}_t n_C\end{aligned}$$

ここで，旅行日数 $n_C=(t_0+\sum_{i=1}^{k}t_i)\Big/\overline{T}_t$ を代入すると，

$$\begin{aligned}\Delta V\left(n_C\right)&=wU\left(k\left(n_C,t_0\right)\right)-\left(p_0t_0+\sum_{i=1}^{k\left(n_C,t_0\right)}p_i\right)\\&-w\left(t_0+\sum_{i=1}^{k\left(n_C,t_0\right)}t_i\right)\end{aligned}$$

となる．

便益は $B\left(n_c\right)=-\int_{t_0}^{\hat{t}_{0\,(C)}}\partial\Delta V\left(n_C\right)\big/\partial t_0 dt_0$ とも書ける．効用最大化の一階条件式のひとつである $\partial\Delta V\left(n_C\right)\big/\partial t_0$ を求める．

$$\begin{aligned}\frac{\partial\Delta V\left(n_c\right)}{\partial t_0}&=w\frac{\partial U\left(k\left(n_c,t_0\right)\right)}{\partial k}\frac{\partial k}{\partial t_0}-p_0\\&\quad-\frac{\partial}{\partial k}\sum_{i=1}^{k\left(n_c,t_0\right)}p_i\frac{\partial k}{\partial t_0}-w\left(1+\frac{\partial}{\partial k}\sum_{i=1}^{k\left(n_c,t_0\right)}t_i\frac{\partial k}{\partial t_0}\right)\\&=\cancel{w\left(\frac{\partial U(k)}{\partial k}-\frac{p_k}{w}-t_k\right)\frac{\partial k}{\partial t_0}}-p_0-w\\&=-p_0-w\end{aligned}$$

結局，便益計測式は以下のように展開して，式(2)が導出される．

$$\begin{aligned}B\left(n_c\right)&=-\int_{t_0}^{\hat{t}_{0\,(C)}}\partial\Delta V\left(n_C\right)\big/\partial t_0 dt_0\\&=\int_{t_0}^{\hat{t}_{0\,(C)}}\left(p_0+w\right)dt_0\\&=\left(p_0+w\right)\left(\hat{t}_{0\,(C)}-t_0\right)\end{aligned}$$

補遺２．式（３）の導出

旅行日数の整数性を考える場合，訪問地数の一階条件が以下のようになる（訪問地数は多いものと仮定して，連続変数と考える．なお，この訪問地数の連続変数としての扱いは旅行回数の整数制約に注目するためである．）．

$$\frac{\partial L}{\partial n_D}=\delta w\left\{\begin{array}{l}\dfrac{\partial U\left(k(n_D,t_0)\right)}{\partial k}-\dfrac{1}{w}\dfrac{\partial}{\partial k}\displaystyle\sum_{i=1}^{k(n_D,t_0)}p_i\\-\lambda\dfrac{\partial}{\partial k}\displaystyle\sum_{i=1}^{k(n_D,t_0)}t_i\end{array}\right\}\frac{\partial k}{\partial n_D}=0$$

これより，旅行日数の整数制約の追加により訪問観光地数も変化することがわかるので，訪問観光地数を以下のように表す．

旅行日数を離散変数にした場合の訪問観光地数：$k\left(n_D,t_0\right)$ と表す．このとき旅行時間 t_0 の旅行者の効用は次式で表せる．

$$\begin{aligned}V\left(n_D\right)&=\delta wU\left(k\left(n_D,t_0\right)\right)+wS(X)+w\overline{T}\\&-\left\{X+\delta\left(p_0t_0+\sum_{i=1}^{k\left(n_D,t_0\right)}p_i\right)\right\}-\delta w\overline{T}_t n_D\end{aligned}$$

内生変数であるダミー変数 δ の選択については，旅行日数が連続の場合と同様に考える．旅行回数が1回である旅行時間 t_0 の旅行者の効用 $V\left(\delta=1:t_0\right)$ と旅行回数 0 回である旅行時間 $\hat{t}_{0\,(D)}$ の旅行者の効用 $V\left(\delta=0\right)$ は，それぞれ次のように示される．

$$\begin{aligned}V\left(\delta=1:t_0\right)&=wU\left(k\left(n_D,t_0\right)\right)+wS(X)+w\overline{T}\\&-\left\{X+\left(p_0t_0+\sum_{i=1}^{k\left(n_D,t_0\right)}p_i\right)\right\}-w\overline{T}_t n_D\end{aligned}$$

$$V\left(\delta=0\right)=wS(X)+w\overline{T}-X$$

旅行時間 $t_0=\hat{t}_{0\,(D)}$ においては，$V(\delta=1:\hat{t}_{0\,(D)})=V\left(\delta=0\right)$ となることより旅行時間 $\hat{t}_{0\,(D)}$ は以下の式を満たす．

$$\begin{aligned}&V_D(\delta=1:\hat{t}_{0\,(D)})=V_D\left(\delta=0\right)\\&\Leftrightarrow V_D(\delta=1:\hat{t}_{0\,(D)})-V_D\left(\delta=0\right)=0\\&\Leftrightarrow wU\left(k\left(n_D,\hat{t}_{0\,(D)}\right)\right)-\left(p_0\hat{t}_{0\,(D)}+\sum_{i=1}^{k\left(n_D,\hat{t}_{0\,(D)}\right)}p_i\right)-w\overline{T}_t n_D=0\end{aligned}$$

旅行回数が 0 回になるような一般化交通費用は $\hat{p}_{(D)}=\left(w+p_0\right)\hat{t}_{0\,(D)}$ となり，この値がチョークプラ

イスとなる．

次に便益を求める．旅行日数が連続の場合とは異なり効用を微分できないため，便益は式(3)で示したように，効用差を用いて表現する．

$$B(n_D) = V(\delta = 1 : t_0) - V(\delta = 0) \equiv \Delta V(n_D)$$
$$\Delta V(n_D) = wU(k(n_D, t_0)) - \left(p_0 t_0 + \sum_{i=1}^{k(n_D, t_0)} p_i \right) - w\overline{T}_t n_D$$

補遺３．Proposition 2の証明

ここでは，効用差$\Delta V(n_D) - \Delta V(n_C)$の符号と大きさを近似法により求める．離散制約有無の旅行日数の差分は$-1 < \varepsilon(t_0) < 1$と微小なので１階近似を用い，離散的な旅行日数$n_D$付近で近似する．

$$\psi = \Delta V(n_D) - \Delta V(n_C)$$
$$= \Delta V(n_D) - \Delta V(n_D - \varepsilon(t_0))$$

と表し，これを１階近似する．

$$\psi = \Delta V(n_D) - \Delta V(n_D - \varepsilon(t_0))$$
$$\approx \Delta V(n_D) - \left\{ \Delta V(n_D) - \frac{\partial \Delta V(n_D)}{\partial n_D} \varepsilon(t_0) \right\}$$
$$\approx \frac{\partial \Delta V(n_D)}{\partial n_D} \varepsilon(t_0)$$

次に，$(\partial \Delta V(n_D) / \partial n_D) \varepsilon(t_0)$を求める．ある旅行時間$t_0$の旅行者の効用$\Delta V(n_D)$は

$$\Delta V(n_D) = wU(k(n_D, t_0)) - \left(p_0 t_0 + \sum_{i=1}^{k(n_D, t_0)} p_i \right) - w\overline{T}_t n_D$$

である．

上の式に，離散的な旅行日数は$n_D = (t_0 + \sum_{i=1}^{k(n_D, t_0)} t_i) \Big/ \overline{T}_t$を代入すると，効用は次式で表される．

$$\Delta V(n_D)$$
$$= wU(k(n_D, t_0)) - \left(p_0 t_0 + \sum_{i=1}^{k(n_D, t_0)} p_i \right) - w\left(t_0 + \sum_{i=1}^{k(n_D, t_0)} t_i \right)$$

$$\psi = \Delta V(n_D) - \Delta V(n_D - \varepsilon(t_0))$$
$$\approx \frac{\partial \Delta V(n_D)}{\partial n_D} \varepsilon(t_0)$$
$$= w \begin{Bmatrix} \dfrac{\partial U(k(n_D, t_0))}{\partial k} - \dfrac{1}{w} \left(\dfrac{\partial}{\partial k} \displaystyle\sum_{i=1}^{k(n_D, t_0)} p_i \right) \\ -\left(\dfrac{\partial}{\partial k} \displaystyle\sum_{i=1}^{k(n_D, t_0)} t_i \right) \end{Bmatrix} \frac{\partial k}{\partial n_D} \varepsilon(t_0)$$

この式は，効用差を近似したものである．この式を，さらに旅行日数n_Dで２階微分すると，$w(\partial^2 U(k(n_D, t_0)) / \partial n_D{}^2) \varepsilon(t_0) < 0$となることからProposition 2が成立する．これは，連続変数として最適な状態から，整数制約を追加しているため，効用が減少するのは当然である．

また，バイアスを計測するには，ある旅行時間t_0における旅行日数の差分$\varepsilon(t_0)$を知る必要があることがわかる．

補遺４．Proposition 3の証明

チョークプライス差$(p_0 + w)(\hat{t}_{0(C)} - \hat{t}_{0(D)})$の符号と大きさを近似法により求める．旅行日数の整数制約追加の旅行日数の差分は$-1 < \varepsilon(\hat{t}_0) < 1$と微小なので，ⅱ）において求めた方法と同様の１階近似を用いる．

旅行日数が連続変数と離散変数の場合それぞれにおける，旅行回数が0回になる旅行時間がわかる．

$$\hat{t}_{0(C)} = \frac{wU(k(n_C, \hat{t}_{0(C)})) - \sum_{i=1}^{k(n_C, \hat{t}_{0(C)})} p_i - w \sum_{i=1}^{k(n_C, \hat{t}_{0(C)})} t_i}{p_0 + w}$$

$$\hat{t}_{0(D)} = \frac{wU(k(n_D, \hat{t}_{0(D)})) - \sum_{i=1}^{k(n_D, \hat{t}_{0(D)})} p_i - w \sum_{i=1}^{k(n_D, \hat{t}_{0(D)})} t_i}{p_0 + w}$$

旅行回数が0回になる旅行時間$\hat{t}_{0(C)}$は$\hat{t}_{0(C)}$のときの旅行日数n_Cによって決まる値，おなじく旅行日数に整数制約がある場合における$\hat{t}_{0(D)}$は$\hat{t}_{0(D)}$のときの旅行日数n_Dによって決まる値である．したがって，それぞれの旅行回数が0回になる旅行時間は以下のように書ける．

$$\hat{t}_{0(C)} \equiv \hat{t}_{0(C)}(n_C), \quad \hat{t}_{0(D)} \equiv \hat{t}_{0(D)}(n_D).$$

$$\phi = (p_0 + w)\left(\hat{t}_{0(C)} - \hat{t}_{0(D)}\right)$$
$$= (p_0 + w)\left\{\hat{t}_{0(C)}(n_C) - \hat{t}_{0(D)}(n_D)\right\}$$
$$= (p_0 + w)\left\{\hat{t}_{0(C)}\left(n_D - \varepsilon\left(\hat{t}_0\right)\right) - \hat{t}_{0(D)}(n_D)\right\}$$

として，これを一階近似する．

$$\phi = (p_0 + w)\left\{\hat{t}_{0(C)}\left(n_D - \varepsilon\left(\hat{t}_0\right)\right)\right\} - (p_0 + w)\hat{t}_{0(D)}(n_D)$$
$$\approx (p_0 + w)\left\{\hat{t}_{0(C)}(n_D) - \frac{\partial \hat{t}_{0(C)}(n_D)}{\partial n_D}\varepsilon\left(\hat{t}_0\right)\right\}$$
$$- (p_0 + w)\hat{t}_{0(D)}(n_D)$$
$$= -(p_0 + w)\frac{\partial \hat{t}_{0(C)}(n_D)}{\partial n_D}\varepsilon\left(\hat{t}_0\right) \qquad \because \hat{t}_{0(C)}(n_D) = \hat{t}_{0(D)}(n_D)$$

次に，$-(p_0 + w)(\partial \hat{t}_{0(C)}(n_D) / \partial n_D)\varepsilon\left(\hat{t}_0\right)$ を求める．

ここで，$\varepsilon\left(\hat{t}_0\right)$ は旅行時間 $\hat{t}_{0(D)}$ における整数制約追加による旅行日数の差分を表している．

$$-(p_0 + w)\frac{\partial \hat{t}_{0(C)}(n_D)}{\partial n_D}\varepsilon\left(\hat{t}_0\right)$$
$$= -w\left\{\begin{array}{l}\dfrac{\partial U\left(k\left(n_D, \hat{t}_{0(D)}\right)\right)}{\partial k} \\ -\dfrac{1}{w}\left(\dfrac{\partial}{\partial k}\displaystyle\sum_{i=1}^{k\left(n_D, \hat{t}_{0(D)}\right)} p_i\right) - \left(\dfrac{\partial}{\partial k}\displaystyle\sum_{i=1}^{k\left(n_D, \hat{t}_{0(D)}\right)} t_i\right)\end{array}\right\}\frac{\partial k}{\partial n_D}\varepsilon\left(\hat{t}_0\right)$$

この式がチョークプライス $(p_0 + w)\left(\hat{t}_{0(C)} - \hat{t}_{0(D)}\right)$ 差を近似したものである．この式における旅行日数 n_D の 2 階微分 $-w(\partial U\left(k\left(n_D, \hat{t}_{0(D)}\right)\right) / \partial k)\varepsilon(t_0) > 0$ から Proposition 3 が成立する．．

また，バイアスを計測するには，旅行回数が 0 回になるような旅行時間 $\hat{t}_{0(D)}$ における旅行日数の差分 $\varepsilon\left(\hat{t}_0\right)$ を知る必要があることがわかる．

参考文献

1) Per-Olov Johansson (1987) : The economic theory and measurement of environmental benefits.
2) A.Myrick Freeman Ⅲ(1993) : The Measurement of Environmental and Resource Values : Theory and Methods, Resources for the Future.
3) Phaneuf, D. J. and Smith V. K. (2005) : Recreation Demand Models. in: K.G. Mäler and J. Vincent, eds., Handbook of Environmental Economics. Amsterdam: North Holland/Elsevier Science..
4) 大野栄治(2000) : 『環境経済評価の実務』，勁草書房.
5) 国土交通省 : 平成 19 年度宿泊旅行統計調査
6) 京都市 : 平成 17 年度京都市観光調査年報，